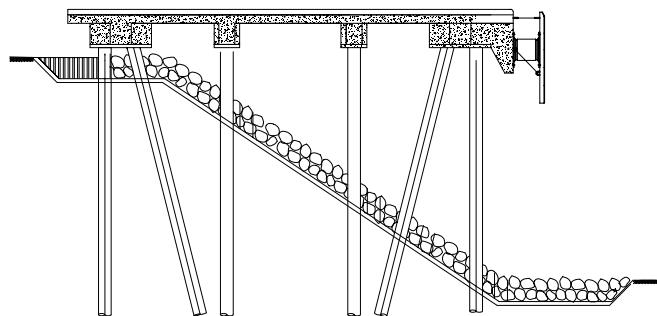


BAB II DASAR TEORI

2.1. Tinjauan umum

Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang akan melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang yang merupakan suatu struktur yang dibuat di laut yang menghubungkan bagian darat dan terdiri dari bangunan atas yang terbuat dari balok, pelat lantai dan tiang pancang yang mendukung bangunan di atasnya. Konstruksi dermaga diperlukan untuk menahan gaya-gaya akibat tumbukkan kapal dan beban selama bongkar muat. Dimensi dermaga didasarkan pada jenis dan ukuran kapal yang akan merapat dan bertambat pada dermaga tersebut. Dalam mempertimbangkan ukuran dermaga harus didasarkan pada ukuran-ukuran minimal sehingga kapal dapat bertambat dan meninggalkan dermaga maupun melakukan bongkar muat dengan aman, cepat dan lancar.

Dermaga dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu *wharf* atau *quai* dan *jetty* atau *pier*. *Wharf* adalah dermaga yang paralel dengan pantai dan biasanya berimpit dengan garis pantai. *Wharf* juga dapat berfungsi sebagai penahan tanah yang ada dibelakangnya. Sedangkan *jetty* atau *pier* adalah dermaga yang menjorok ke laut. Berbeda dengan *wharf* yang digunakan untuk merapat satu sisinya, *jetty* dapat digunakan pada satu sisi atau dua sisinya, yang biasanya sejajar dengan pantai dan dihubungkan dengan daratan oleh jembatan yang biasanya membentuk sudut tegak lurus dengan *jetty*, sehingga *jetty* dapat berbentuk T, L atau Jari.



Gambar 2.1. Wharf dengan konstruksi tiang pancang

Pada perencanaan Dermaga Bongkar Batubara Cilacap, beberapa hal yang dijadikan pertimbangan adalah sebagai berikut:

1. Dimensi dermaga disesuaikan dengan jenis dan kapasitas tongkang yang akan bersandar.
2. Jalur khusus *gantry crane* yang digunakan untuk mengangkat batubara dari tongkang.
3. Tipe dermaga disesuaikan dengan kondisi perairan di area pelabuhan dan kondisi daya dukung tanah setempat.

2.2. Dasar Perencanaan Dermaga

Pedoman atau dasar perencanaan yang digunakan dalam perencanaan Dermaga Bongkar Batubara Cilacap secara umum dari buku-buku sebagai berikut:

1. Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, 1996
2. *Design and construction of ports an marine structure*, Alonzo DeF. Quinn
3. *Port Design*, Carl A. Thoresen.
4. Peraturan Muatan Indonesia (PMI)
5. Perencanaan Beton Bertulang Dasar SK SNI 03 - 2002
6. Buku Teknik Sipil
7. Analisa dan Desain Pondasi, Jilid 1 dan 2 , J.E.Bowles, 1992
8. Catatan Kuliah Pelabuhan, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Disamping literatur di atas penulis juga menggunakan literatur-literatur lain baik dari diktat kuliah maupun sumber lain yang mendukung sebagai acuan di dalam perencanaan pelabuhan batubara.

2.3. Kriteria Perencanaan

2.3.1. Alur pelayaran

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

- ▶ Karakteristik maksimum kapal yang akan menggunakan pelabuhan
- ▶ Mode operasional alur pelayaran satu arah/dua arah
- ▶ Kondisi bathimetri, pasang surut, angin dan gelombang yang terjadi
- ▶ Kemudahan bagi navigasi untuk melakukan gerakan *manouver*

a. Panjang alur Pelayaran

Panjang alur masuk dihitung mulai dari posisi kapal mengurangi kecepatan sampai memasuki *turning basin area* (*stopping distance*, S_d) adalah :

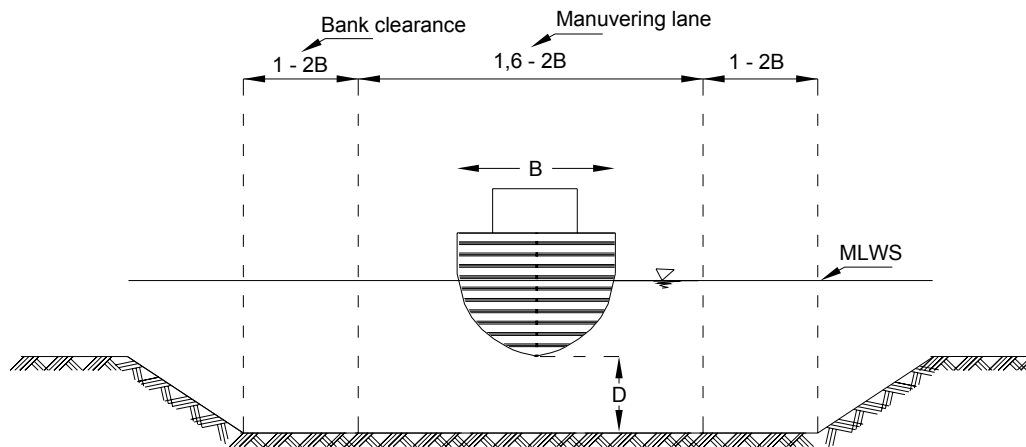
Menurut rekomendasi PIANC, panjang alur minimal untuk kondisi kapal ± 10.000 DWT dengan kecepatan maksimum 5 knots, adalah $1 \times$ Loa kapal, dengan Loa digunakan dari kapal rencana terbesar. Panjang alur ini akan digunakan juga sebagai panjang minimal dari ujung mulut *breakwater* hingga *turning basin area*.

b. 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 2.2. Lebar alur satu jalur

c. Kedalaman alur pelayaran

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan kedalaman alur ideal adalah :

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

dimana :

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

d = *draft* kapal (meter)

G = gerakan vertikal kapal karena

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

B = lebar kapal (m)

$$z = \text{squat} = 2,4 \frac{\Delta \cdot F^r}{L_{pp}^2 \sqrt{(1 - Fr^2)}}$$

dimana :

Δ = volume air yang dipindahkan (m³)

L_{pp} = panjang garis air (m)

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

V = kecepatan kapal (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

h = kedalaman air (m)

P = Ketelitian pengukuran.

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

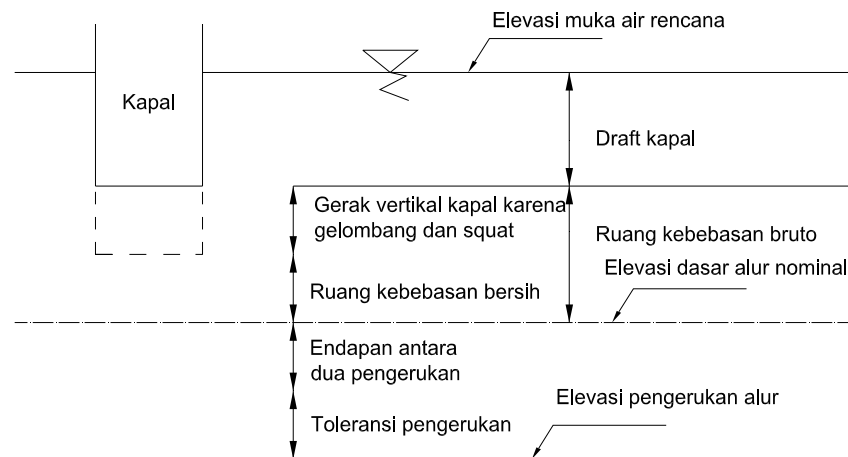
Pantai pasir = 0,50 m.

Karang = 1,00 m

S = Endapan sedimen diantara dua pengerukan.

K = Toleransi pengerukan.

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



Gambar 2.3. Kedalaman alur pelayaran

d. Perhitungan kolam putar (*turning basin*)

Kolam putar (*turning basin*) dibutuhkan sebagai area untuk manuver kapal sebelum dan sesudah bertambat. Kawasan kolam ini merupakan tempat kapal melakukan gerakan memutar untuk berganti haluan. Area ini harus di desain sedemikian rupa sehingga memberikan ruang yang cukup luas dan nyaman.

Dasar pertimbangan perancangan kolam putar:

1. Perairan harus cukup tenang
2. Lebar dan kedalaman perairankolam disesuaikan dengan fungsi dan kebutuhan kapal yang menggunakannya.
3. Kemudahan gerak (manuver) kapal.

Ukuran kolam putar pelabuhan menurut *Design and Construction of Port and Marine Structure*, Alonzo Def. Quinn, 1972, hal 91 sebagai berikut:

- ▶ ukuran diameter *turning basin* optimum untuk melakukan manuver berputar yang mudah adalah $4 \times Lo$.

- ▶ Ukuran diameter *turning basin* menengah adalah $2 \times Lo$, manuver kapal saat berputar lebih sulit dan membutuhkan waktu yang lebih lama.
- ▶ Ukuran diameter *turning basin* kecil adalah $< 2 \times Lo$, untuk *turning basin* tipe ini, manuver kapal akan dibantu dengan jangkar dan *tugboat*/kapal pandu.
- ▶ Ukuran diameter *turning basin* minimum adalah $1,2 \times Lo$, manuver kapal harus dibantu dengan *tugboat*, jangkar dan *dolphin*. Kapal ini harus memiliki titik-titik yang pasti sebagai pola pergerakannya saat berputar.

2.3.2. Perencanaan Dermaga

Pada perencanaan harus dipertimbangkan semua aspek yang mungkin akan berpengaruh baik pada saat pelaksanaan konstruksi maupun pada saat pengoperasian dermaga. Penggunaan peraturan dan persyaratan-persyaratan dimaksudkan untuk memperoleh desain yang memenuhi syarat keamanan, fungsi dan biaya konstruksi. Persyaratan dari desain dermaga pada umumnya mempertimbangkan lingkungan, pelayanan konstruksi, sifat-sifat material dan persyaratan-persyaratan sosial. Elemen-elemen yang dipertimbangkan dalam perencanaan dermaga antara lain:

a. Fungsi

Fungsi dermaga berkaitan dengan tujuan akhir penggunaan dermaga, apakah untuk melayani penumpang, barang atau untuk keperluan khusus seperti untuk melayani transportasi minyak dan gas alam cair.

b. Tingkat kepentingan

Pertimbangan tingkat kepentingan biasanya menyangkut adanya sumber daya yang bernilai ekonomi tinggi yang memerlukan fasilitas pendistribusian atau menyangkut sistem pertahanan nasional.

c. Umur (*life time*)

Pada umumnya umur rencana (*life time*) ditentukan oleh fungsi, sudut pandang ekonomi dan sosial untuk itu maka harus dipilih material yang

sesuai sehingga konstruksi dapat berfungsi secara normal sampai umur yang direncanakan. Terlebih lagi untuk konstruksi yang menggunakan desain kayu atau baja yang cenderung untuk menurun kemampuan pelayanannya akibat adanya kembang susut ataupun korosi, maka umur rencana harus ditetapkan guna menjamin keamanan konstruksinya.

d. Kondisi lingkungan

Selain gelombang, gempa, kondisi topografi tanah yang berpengaruh langsung pada desain, juga harus diperhatikan pengaruh adanya konstruksi terhadap kualitas air, kehidupan hewan dan tumbuh-tumbuhan serta kondisi atmosfer sekitar.

e. Beban-beban yang bekerja

f. Material yang digunakan

g. Faktor keamanan

Faktor keamanan berlaku sebagai indeks yang mewakili keamanan desain suatu struktur, bermanfaat untuk mengkompensasikan ketidakpastian dalam desain yang biasanya terjadi akibat kurangnya ketelitian dan *human error* dalam desain dan pelaksanaan konstruksi.

h. Periode konstruksi

i. Biaya konstruksi

j. Biaya perawatan

a. Pemilihan tipe dermaga

Dalam perencanaan dermaga pertimbangan-pertimbangan pokok yang diperlukan pada pemilihan tipe dermaga secara umum adalah:

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. 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.

3. Daya dukung tanah

Kondisi tanah sangat menentukan dalam pemilihan tipe dermaga. Pada umumnya tanah di dekat dataran memiliki daya dukung yang lebih besar daripada 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.

Dengan mempertimbangkan letak dermaga yang berada di perairan PLTU Cilacap, maka dipilih dermaga dengan tipe *wharf* atau *quai*. *Wharf* atau *quai* merupakan dermaga yang dibangun pada garis pantai, relatif dekat atau sejajar dengannya.

b. Perencanaan dimensi dermaga

✚ Panjang dermaga

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

$$L_p = n \text{Loa} + (n-1) 15,00 + (2 \times 25,00)$$

$$d = L_p - 2e$$

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

dimana :

L_p = panjang dermaga (m)

A = luas gudang (m²)

n = jumlah kapal yang bertambat

Loa = panjang kapal (m)

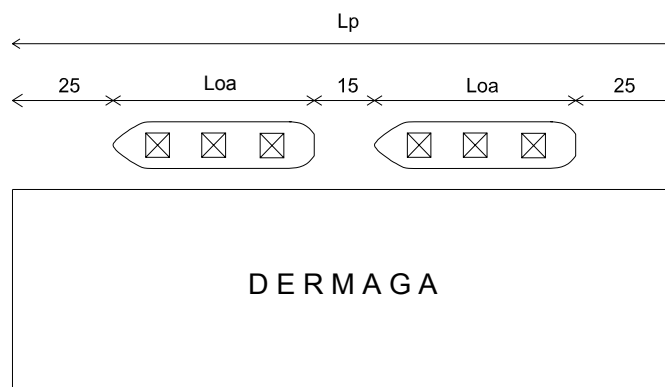
b = lebar gudang (m)

a = lebar *apron* (m)

e = lebar jalan (m)

d = panjang gudang (m)

Pada perencanaan dermaga kali ini, hanya di desain panjang dermaga saja dan kapal yang menggunakan fasilitas dermaga ini memiliki ukuran antara 8000 DWT - 12.000 DWT. Perencanaan panjang area tambatan pada tugas akhir ini berdasarkan ukuran kapal terbesar yaitu 12.000 DWT.



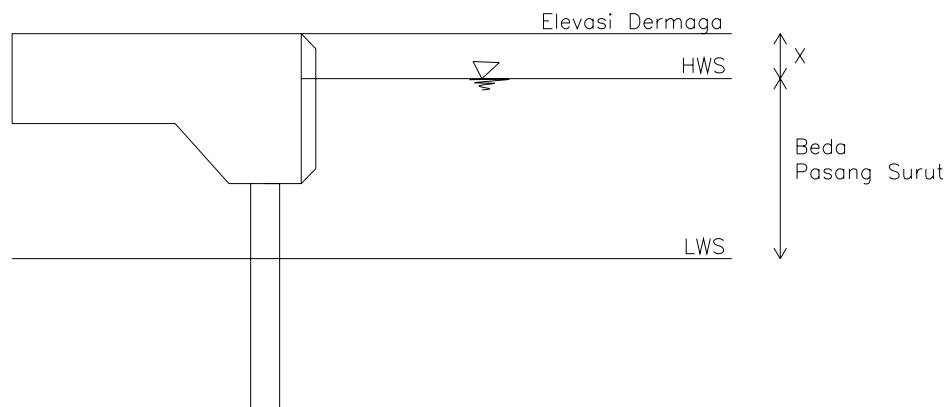
Gambar 2.4. Panjang dermaga

Lebar dermaga

Lebar dermaga direncanakan sesuai dengan kebutuhan dermaga. Perhitungan lebar dermaga dilakukan dengan memperhitungkan jarak tepi, jarak kaki *crane* dan kebutuhan *manouver* peralatan yang berada diatas dermaga.

c. Elevasi dermaga

Tinggi lantai dermaga dihitung dalam keadaan air pasang.



Gambar 2.5. Elevasi lantai dermaga

Elevasi dermaga menurut buku *Bambang Triatmodjo, Pelabuhan* 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).

d. Gaya-gaya yang berkerja pada dermaga

Gaya-gaya yang bekerja pada dermaga adalah :

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 :

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

dimana :

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

V = kecepatan kapal saat merapat (m/det)

W = *displacement tonage* (ton)

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

L = panjang kapal (ft)

B = lebar kapal (ft)

D = *draft* (ft)

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

g = gaya gravitasi bumi = 9,81 m/det²

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 :

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

$$C_b = \frac{W}{L_{pp} \times B \times d \times \gamma_0}$$

dimana :

C_b = koefisien blok kapal

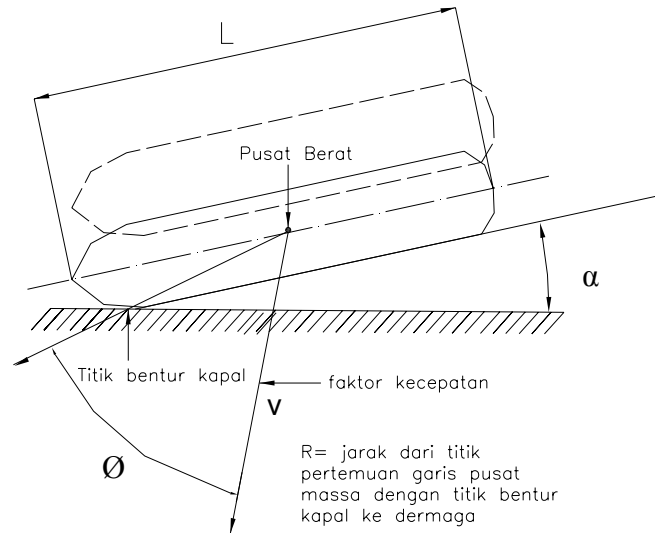
d = *draft* kapal (m)

B = lebar kapal (m)

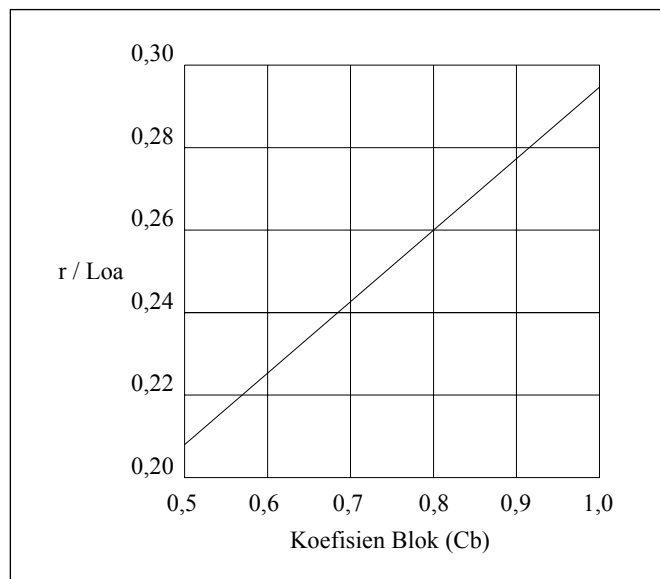
L_{pp} = panjang garis air (m)

γ_0 = berat jenis air laut (t/m³)

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



Gambar 2.6. Jarak sandar kapal ke pusat berat kapal



Gambar 2.7. Grafik koefisien blok

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

dimana :

- l = jarak sepanjang permukaan air dari pusat berat kapal sampai titik sandar kapal (m)
 Dermaga : $l = 1/4$ Loa (m)
 Dolphin : $l = 1/6$ Loa (m)
 r = jari – jari putaran disekeliling pusat berat kapal pada permukaan air (m)

2. Gaya akibat angin

Angin yang berhembus ke arah badan kapal yang ditambatkan 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 maksimum terjadi saat berhembus angin dari arah lebar:

Rumus 1 (Quinn, 1972):

$$F_w = C_w \times \gamma_w \times A_w \times \frac{V_w^2}{2g}$$

dimana :

F_w = Gaya akibat angin arah tegak lurus kapal (Kgf)

γ_w = Berat jenis udara = 1,225 Kg/m³

g = Percepatan gravitasi = 9,81 m/dt²

A_w = Proyeksi bidang yang tertiuip angin (m²)

Diambil sebesar 804 m² untuk arah lebar kapal

V_w = Kecepatan angin di pelabuhan (m/dt)

Kecepatan angin rencana diambil 17 Knot=8.7448 m/dt

C_w = Koefisien angin = 1,1

2.3.3. Perencanaan pembebanan dermaga

Dermaga menerima beban yang bekerja pada struktur terdiri dari beban vertikal dan beban horisontal.

a. Pembebanan arah vertikal

► **Beban mati/berat sendiri**

Berat sendiri merupakan berat dari beban-beban mati yang secara permanen dan konstan selama waktu hidup konstruksi yaitu beban pelat, balok memanjang dan melintang, serta *poer*.

Untuk beban pelat, pertama dihitung beban terbagi ratanya pada setiap luasan pelat, kemudian dicari beban terbagi rata ekuivalensinya yang akan diterima pada balok. Hal ini dilakukan untuk memudahkan pelaksanaan analisa strukturnya. Pada balok, beban terbagi ratanya tergantung dari beban yang direncanakan, dan begitu juga dengan *poer*. Dan akhirnya semua beban tersebut dijadikan satu dalam berat sendiri.

Untuk sebagian besar beton bertulang, harga standar berat volume yang dipakai adalah 2.4 t/m^3

► **Beban hidup**

Beban yang diakibatkan oleh beban hidup yang ada diatas dermaga, dipengaruhi oleh beban orang, beban truk, beban hujan, beban *conveyor* dan beban *crane*.

b. Pembebanan arah horizontal

► **Gaya fender**

Gaya *fender* yang terjadi saat kapal sedang merapat berupa gaya pukul kapal pada *fender* akibat kecepatan pada saat merapat, serta akibat pergoyangan kapal oleh gelombang dan angin.

Tabel 2.1. 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

Gaya benturan kapal yang bekerja secara horizontal dapat dihitung berdasarkan energi benturan kapal terhadap dermaga. Hasil perhitungan energi akibat benturan kapal kemudian dikalikan dengan dua untuk mendapatkan beban impak abnormal. Kemudian beban impak abnormal dikalikan dengan faktor reduksi produk fender yang ditentukan oleh *supplier fender*, dengan harga faktor reduksi $\pm 10\%$ dari beban impak abnormal

Jarak *fender* diatur sedemikian rupa sehingga kontak langsung antara kapal dan dinding dermaga dapat dihindari. Persamaan yang digunakan untuk menentukan jarak maksimum antara *fender* adalah:

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

dimana:

- L = Jarak maksimum antar *fender* (m)
- r = Jari-jari kelengkungan sisi haluan kapal (m)
- h = Tinggi *fender*

► **Gaya Boulder**

Fungsi dari *boulder* adalah untuk penambat kapal agar tidak mengalami pergerakan yang dapat mengganggu baik pada aktivitas bongkar muat maupun lalu-lintas kapal yang lainnya. *Boulder* yang digunakan pada dermaga biasanya menggunakan bahan dari baja cor karena lebih tahan cuaca dan cukup kuat untuk menahan gaya-gaya yang bekerja, tinggi *boulder* tidak lebih dari 50 cm dengan ujung tertutup dan lebih besar untuk mencegah terlepasnya tali kapal yang diikat untuk jarak bolder dipakai.

Tabel 2.2. Gaya tarik bolder

Bobot kapal (GRT)	Gaya tarik pada <i>bollard</i> (ton)	Gaya tarik pada <i>bitt</i> (ton)
200-500	15	15
501-1.000	25	25
1.001-2.000	35	25
2.001-3.000	35	35
3.001-5.000	50	35
5.001-10.000	70	50(25)
10.001-15.000	100	70(25)
15.001-20.000	100	70(35)
20.001-50.000	150	100(35)
50.001-100.000	200	100(50)

Catatan :Nilai dalam kurung adalah untuk gaya pada tambatan yang dipasang disekitar tengah kapal yang mempunyai tidak lebih dari 2 tali penambat

Tabel 2.3. Penempatan bitt

Ukuran kapal (GRT)	Jarak maksimum	Jumlah minimal
<2.000	10-15	4
2.001-5.000	20	6
5.001-20.000	25	6
20.001-50.000	35	8
50.001-100.000	45	8

► **Beban gempa**

Analisis pembebanan gempa yang digunakan adalah analisis dinamik yaitu menggunakan respon spektrum yang dihitung secara tiga dimensi dengan menggunakan program SAP 2000 versi 9.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya beban gempa antara lain:

1. Faktor keutamaan struktur (I)
2. Faktor reduksi gempa (R)
3. Faktor respon gempa (C) yang ditentukan berdasarkan zona gempa dan jenis tanah.
4. Beban vertikal struktur atau massa dari beban sendiri dan beban dari luar.

► *Faktor Keutamaan Struktur (I)*

Faktor keutamaan struktur (I) digunakan untuk memperbesar beban gempa rencana, agar sistem struktur mampu untuk memikul beban gempa dengan periode ulang yang lebih panjang. Faktor I adalah suatu koefisien yang diadakan untuk memperpanjang waktu ulang dari kerusakan bangunan yang lebih penting, untuk mengamankan penanaman modal.

Bangunan dermaga adalah bangunan penting yang harus tetap berfungsi setelah terjadi gempa, jadi faktor keutamaan struktur bangunan dermaga yaitu 1,4.

► *Faktor Reduksi Beban Gempa (R)*

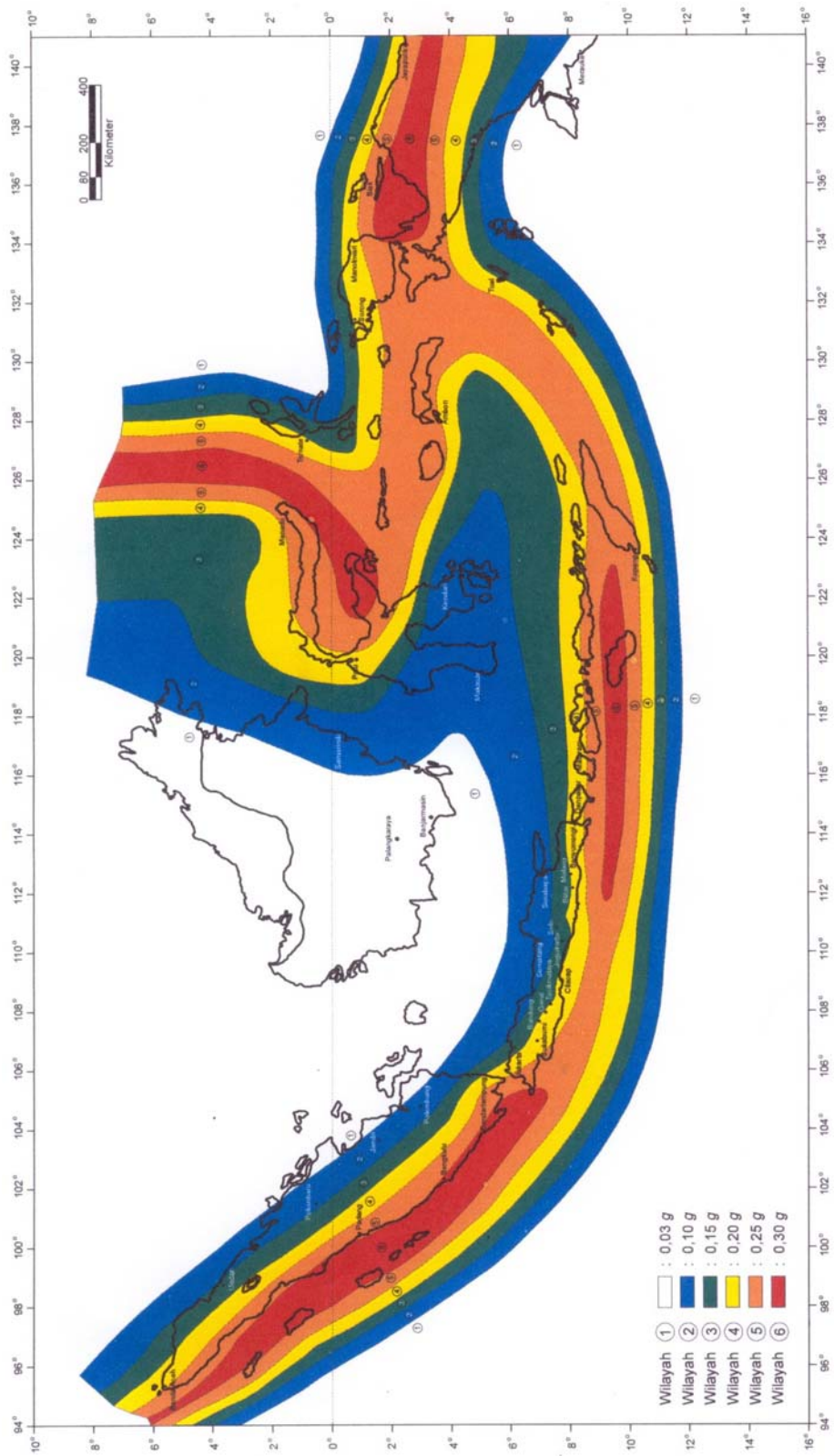
Sistem struktur dermaga ini pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, dimana beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur. Biasanya untuk sistem rangka pemikul momen biasa dari beton bertulang harga Faktor Daktilitas Maksimum $\mu_m = 2,1$ dan Faktor Reduksi Gempa Maksimum $R_m = 3,5$.

► *Faktor Spektrum Respon Gempa (C)*

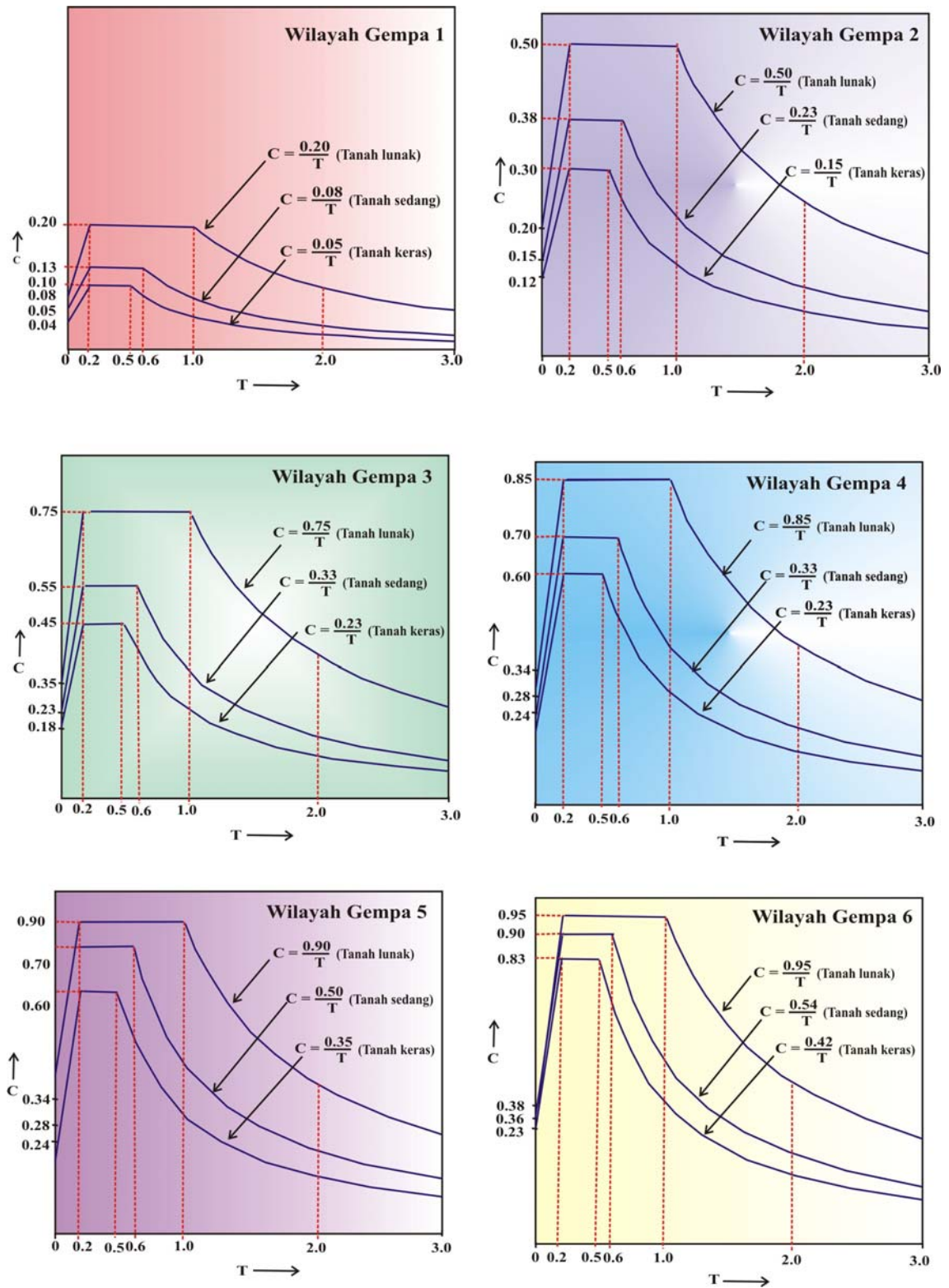
Koefisien spektrum respon gempa (C) digunakan untuk menjamin agar struktur bangunan mampu untuk memikul beban gempa yang dapat menyebabkan kerusakan pada sistem struktur. Besarnya faktor respon gempa didapat dari diagram spektrum respon gempa. Pemilihan dan penggunaan diagram spektrum respon gempa didasarkan pada zona gempa dan jenis tanah.

Penentuan Zona Gempa

Faktor wilayah kegempaan (Z) dimaksudkan untuk memperhitungkan pengaruh dari beban gempa pada suatu wilayah tertentu. Penentuan zona gempa menurut lokasi pembangunan dermaga yaitu di Cilacap dan berdasarkan peta wilayah kegempaan, Cilacap termasuk dalam zona 3.



Gambar 2.9. Peta zona gempa indonesia



Gambar 2.10. Spektrum respon gempa untuk masing-masing zona

► **Penentuan Jenis Tanah**

Gelombang gempa merambat melalui batuan dasar dibawah permukaan tanah dari kedalaman batuan dasar ini celombang gempa merambat ke permukaan tanah sambil mengalami pembesaran atau amplifikasi bergantung pada jenis lapisan tanah yang berada di atas batuan dasar tersebut. Ada tiga kriteria yang dipakai untuk mendefinisikan batuan dasar yaitu:

- 1) *Standard penetrasi test (N)*
- 2) *Kecepatan rambat gelombang geser (Vs)*
- 3) *Kekuatan geser tanah (Su)*

Definisi dari jenis-jenis tanah tersebut ditentukan atas tiga (3) kriteria, yaitu Vs, N dan kekuatan geser tanah (Su). Untuk menetapkan jenis tanah minimal tersedia 2 dari 3 kriteria, dimana kriteria yang menghasilkan jenis tanah yang lebih lunak adalah yang menentukan.

Tabel 2.3. Jenis tanah berdasarkan SNI gempa 2002

Jenis tanah	Vs (m/dt)	N	Su (Kpa)
Keras	$Vs \geq 350$	$N \geq 50$	$Su \geq 100$
Sedang	$175 \leq Vs < 350$	$15 \leq N < 50$	$50 \leq Su < 100$
Lunak	$Vs < 175$	$N < 15$	$Su < 50$
Khusus	Diperlukan evaluasi khusus ditiap lokasi		

2.4 Perencanaan konstruksi atas dermaga (*upper structure*)

Dermaga curah batubara ini direncanakan menggunakan konstruksi beton. Pada perhitungan konstruksi dermaga ini dipilih dengan pertimbangan :

1. Pada struktur di perairan, harus dihindarkan terjadinya retak agar tulangan struktur terhindar dari korosi.
2. terjadinya beban lebih (*overload*) pada bangunan di perairan lebih sering terjadi, baik akibat beban luar (arus, gelombang, dan pasang surut) maupun beban gempa.

Prosedur perencanaan dermaga secara umum adalah sebagai berikut :

1. Penentuan ukuran dermaga dan *layout* yang digunakan.
2. Penentuan *layout* balok, posisi tiang pancang, posisi dilatasi antar blok dermaga, lokasi fasilitas lain misal : *bollard* dan *fender*.
3. Penentuan asumsi dimensi masing-masing bagian struktur, yaitu plat, balok, tiang pancang dsb.
4. Penentuan beban yang bekerja pada masing-masing bagian struktur, setelah terlebih dahulu ditentukan kebutuhan ukuran *fender* dan *bollard*.
5. Perhitungan kekuatan struktur dari masing-masing bagian struktur termasuk penulangan plat, balok, *poer* dsb
6. Pengecekan terhadap stabilitas struktur secara keseluruhan.
7. Pembuatan detail gambar sesuai dengan perhitungan yang didapatkan.

Apabila saat pengecekan/kontrol stabilitas tidak memenuhi persyaratan maka perhitungan harus diulangi lagi mulai langkah ketiga.

2.4.1. Perencanaan pelat precast

2.4.1.1. Perhitungan momen pada pelat

Asumsi perhitungan-perhitungan yang dipakai adalah perletakan jepit elastis, dimana pelat dan balok merupakan satu kesatuan yang monolit dengan balok yang didesain berdasarkan teori elastis sehingga tidak terlalu kaku.

► Perhitungan momen akibat beban terbagi rata :

$$M_{lx} = M_{tx} = + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot x$$

$$M_{ly} = M_{ty} = + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot x$$

dimana :

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

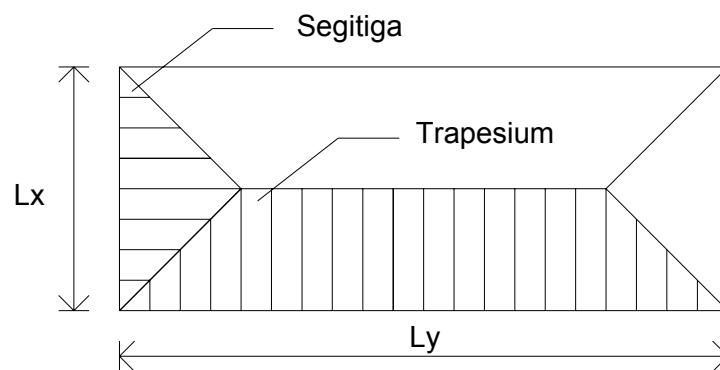
M_{tx} , M_{ty} = momen lentur pelat per satuan panjang di tumpuan arah bentang l_x , l_y (tm).

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

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

x = koefisien

2.4.1.2. Distribusi beban plat pada balok

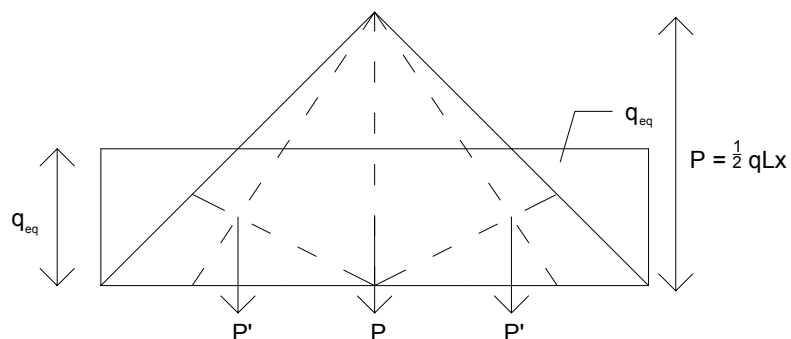


Gambar 2.11. Distribusi Beban Plat pada Balok

Beban plat q (t/m^2 , kg/m^2)

$$P = \frac{1}{2} q l_x \quad (t/m^2, kg/m^2).$$

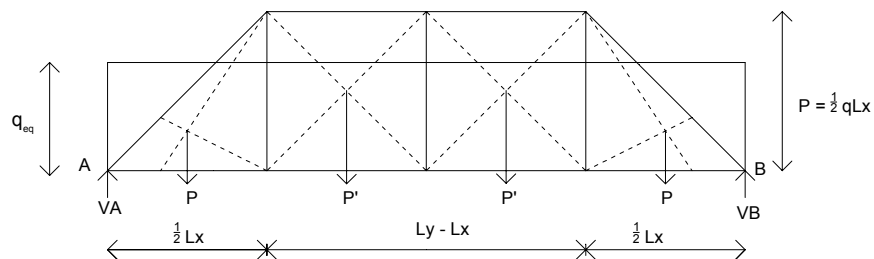
a. Beban segitiga



Gambar 2.12. Beban segitiga

$$\begin{aligned}
 W &= (1/2q \times Lx) \\
 M_{\text{Mak Segitiga}} &= \frac{wxLx^2}{32} = \frac{q.Lx^3}{64} \\
 M_{\text{Mak Beban Merata}} &= q_{eq} \times Lx^2 / 24 \\
 M_{\text{Mak Beban Merata}} &= M_{\text{Mak Segitiga}} \\
 q_{eq} \times Lx^2 / 24 &= \frac{qxLx^3}{64} \\
 q_{ek} &= 3/8 (q \times Lx) \\
 R_A &= R_B = (q_{ek} \times Ly)/2
 \end{aligned}$$

b. Beban trapesium



Gambar 2.13. Beban trapesium

$$\begin{aligned}
 w &= (1/2q \times Lx) \\
 M_{\text{Mak Trapesium}} &= \frac{w(L^3 - 2a^3L + a^3)}{12L} \\
 &= \frac{0.5xq.Lx(Ly^3 - 2(0,5Lx)^2.Ly + (0,5Lx)^3)}{12Ly} \\
 M_{\text{Mak Beban Merata}} &= q_{eq} \times Lx^2 / 24 \\
 M_{\text{Mak Beban Merata}} &= M_{\text{Mak Trapesium}} \\
 q_{eq} \times Lx^2 / 24 &= \frac{0.5xq.Lx(Ly^3 - 2(0,5Lx)^2.Ly + (0,5Lx)^3)}{12Ly}
 \end{aligned}$$

$$q_{ek} = \frac{q \cdot Lx(Ly^3 - 0,5Lx^2Ly + (Lx^3/8))}{Ly^3}$$

$$R_A = R_B = (q_{ek} \times Ly)/2$$

2.4.1.3. Penulangan pelat

Langkah-langkah perencanaan penulangan plat adalah sebagai berikut :

1. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.

$$\frac{Ly}{Lx} \leq 3 \quad \rightarrow \quad \text{termasuk pelat dua arah (two way slab)}$$

2. Menentukan tebal plat.

Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 bab 3.2.5 hal 18, maka tebal plat ditentukan berdasarkan ketentuan sebagai berikut :

$$h_{\min} = \frac{l \max(0.8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 9\beta}$$

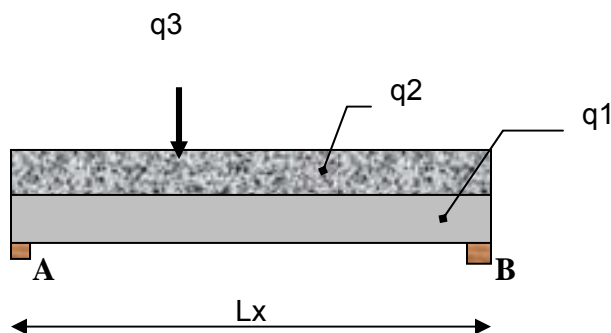
$$h_{\max} = \frac{l \max(0.8 + \frac{f_y}{1500})}{36}$$

3. Menghitung beban yang bekerja pada plat, berupa beban mati dan beban hidup. Beban-beban yang dialami :

q1 = berat sendiri plat *precast* → kg/m²

q2 = berat beton *topping off* → kg/m²

q3 = berat pekerja → kg/m²



$$\text{Maka : } W_u = 1.2 (q_1 + q_2) + 1.6 q_3$$

4. Menghitung momen-momen yang menentukan.

Berdasarkan Buku CUR 1, hal 90, pada plat yang menahan dua arah dengan terjepit pada kedua sisinya bekerja empat macam momen yaitu :

- Momen lapangan arah x (M_{lx}) = koefisien x W_u x Lx^2
- Momen lapangan arah y (M_{ly}) = koefisien x W_u x Lx^2
- Momen tumpuan arah y (M_{ty}) = koefisien x W_u x Lx^2
- Momen jepit tak terduga arah x (M_{tix}) = 0.5 M_{lx}

5. Mencari tulangan pelat

Berdasarkan Buku CUR 1, langkah-langkah perhitungan tulangan pada plat adalah sebagai berikut :

- Menetapkan tebal selimut beton menurut Buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang hal 14.
- Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.
- Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.
- Membagi M_u dengan $b \times d^2$ $\left(\frac{M_u}{b \times d^2} \right)$

dimana b = lebar pelat per meter panjang

d = tinggi efektif

- Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

$$\left(\frac{M_u}{b \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times f_y \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

ϕ = faktor reduksi (SKSNI T-15-1991-03 hal 15)

- Memeriksa syarat rasio penulangan ($\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f'_c}{f_y}$$

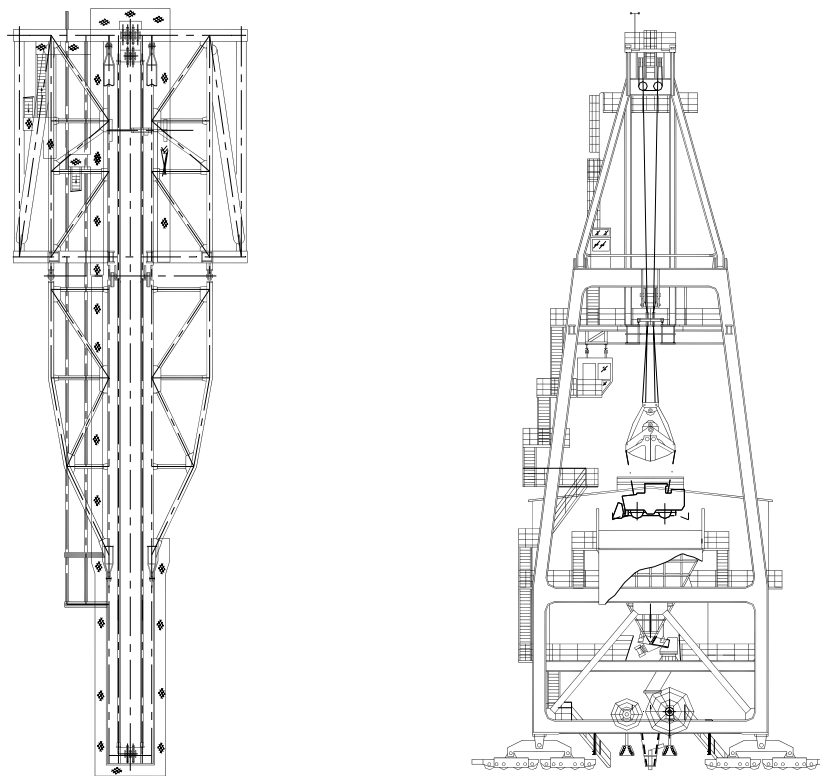
- g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(A_s = \rho \times b \times d \times 10^6) \quad (\text{Buku CUR 1, Vis dan Gideon})$$

2.4.2. Perencanaan balok *crane*

Pada perencanaan dermaga ini, peralatan yang digunakan untuk proses bongkar batubara dari kapal ke dermaga adalah *gantry crane*, yaitu kran raksasa yang dipasang diatas rel di sepanjang dermaga untuk bongkar batubara dari kapal. Alat ini dapat menjangkau jarak yang cukup jauh di daratan maupun diatas kapal.

Sebagai landasan Bergeraknya *gantry crane*, digunakan rel yang bertumpu pada struktur tersendiri dimana di dalam perencanaan dermaga ini struktur tersebut adalah balok *crane* (balok *in situ*).



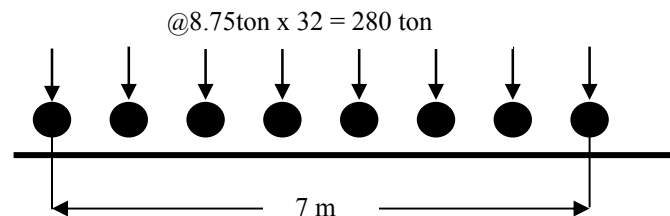
Tampak atas crane

Tampak depan crane

Gambar 2.14. Multy purpose gantry crane

Pembebanan yang bekerja pada balok crane adalah :

1. Beban merata.
 - Berat sendiri
 - Berat rel
2. Beban berjalan (rangkaian roda crane)



Gambar 2.15. Beban berjalan

Untuk perhitungan penulangan balok crane digunakan cara dengan menghitung beban berjalan sejauh x dari tepi balok yang ditinjau. Untuk menghitung besarnya momen maksimum yang dihasilkan pada tiap - tiap jarak x dari balok yang ditinjau, menggunakan program analisa struktur SAP 2000 versi 9.

2.4.3. Perencanaan balok

Balok melintang menandai adanya portal dari struktur, dimana pada ujung balok arah sisi tambat kapal diletakkan *fender* atau *boulder*. Pada beberapa dermaga ditambahkan balok anak yang arahnya melintang dan berfungsi sebagai pengaku struktur plat.

Pada struktur yang menggunakan *poer* sebagai penyambung antara ujung atas tiang pancang dengan balok, maka ukuran balok dapat ditentukan hanya dengan pertimbangan faktor kelangsingan bahan dan kebutuhan menerima momen dan gaya lintang, misal perbandingan antara lebar dengan tinggi (cm) 50/70, 60/90, sampai 120/200. Sedang bila tidak digunakan *poer*, maka lebar balok harus diperhitungkan mencukupi sebagai tempat menancap ujung atas tiang pancang.

Penentuan momen, gaya lintang dan gaya reaksi pada perletakan balok ditentukan berdasar perhitungan stabilitas menyeluruh (stabilitas 3 dimensi) dari sistem struktur ini yaitu stabilitas antar portal dan balok memanjang. Perhitungan dengan mengandalkan stabilitas tiap portal secara individual (stabilitas 2 dimensi) menyebabkan hasil perhitungan momen seringkali agak berlebihan.

Dengan menerapkan beberapa kombinasi pembebanan sesuai kondisi masing – masing dermaga, akan diperoleh hasil perhitungan pada tiap – tiap sambungan (*joints*) dan simpul, selanjutnya perlu dipilih yang menghasilkan angka maksimum untuk dipakai sebagai dasar perhitungan kebutuhan tulangan dan pengecekan kekuatan bahan.

Sebelum perhitungan dilaksanakan metode pelaksanaan pembetonan dan tipe atau kualitas beton yang akan dipakai perlu ditentukan lebih dulu. Perlu ditetapkan akan dilaksanakan dengan beton cor di tempat (*cast insitu*), ataukah dicetak sebelumnya (*precast/prefabricated*), dan apakah akan digunakan beton pratekan (*pre-stressed*) atau ditegang sesudahnya (*post-tension*). Kualitas beton juga harus ditentukan minimal dengan kemampuan tegangan tekan 300 kg/cm².

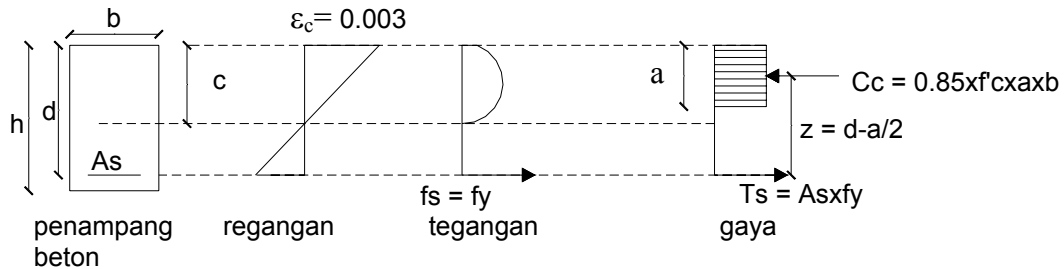
Penggunaan beton *precast* untuk bangunan pelabuhan semakin dikenal di Indonesia, sistem ini memiliki keuntungan : pelaksanaan dapat lebih cepat, dengan hasil yang lebih rapi dan akurat,kerugiannya adalah dibutuhkan ketepatan / presisi posisi plat, balok, maupun tiang pancang beserta sambungan-sambungannya baik itu sambungan antar plat, antara plat dengan balok, antar balok, ataupun antara balok dengan tiang pancang.

Sedangkan, apabila menggunakan beton pratekan maka hal ini tidak jauh berbeda dengan penjelasan di atas yaitu tentang pemakaian beton *precast*. Namun perlu diperhatikan pada beton pratekan terhadap sifat sensitivitasnya terhadap beban. Letak sensitivitas itu adalah pada tendonnya. Apabila beban yang diberikan tidak sanggup diterima oleh beton pratekan maka tendon tersebut akan putus dan struktur langsung *collapsed*.

Dan bila pengecoran *in situ* diterapkan maka biaya yang dikeluarkan lebih ekonomis dibandingkan dengan dua metode di atas meskipun pelaksanaan pengecorannya diperlukan bekisting. Tetapi bekisting di sini tidak terbuat dari kayu melainkan dari beton.

Perencanaan penulangan balok (metode lentur murni)

Berdasarkan buku CUR 1, Vis dan Gideon, 1997



Gambar 2.16. Tegangan, regangan dan gaya yang terjadi pada perencanaan lentur murni beton bertulang

Dari gambar didapat:

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

Sehingga:

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y$$

dimana

$$a = \beta \cdot c$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

menurut SKSNI T-15-1991-03 hal 22 :

$$f'_c \leq 30 \text{ Mpa} , \beta = 0,85$$

$$f'_c > 30 \text{ Mpa} , \beta = 0,85 - 0,008 (f'_c - 30)$$

Pada Tugas Akhir ini digunakan $f'_c = 30 \text{ Mpa}$, sehingga didapat:

$$0,85 \cdot f'_c \cdot \beta \cdot c \cdot b = A_s \cdot f_y$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot 0,85c \cdot b = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y$$

$$0,7225 \cdot b \cdot c \cdot f'_c = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y$$

$$c = \frac{\rho \cdot b \cdot d \cdot f_y}{0,7225 \cdot b \cdot c \cdot f'_c}$$

$$c = 1,384 \rho \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot d$$

Besarnya momen yang mampu dipikul oleh penampang adalah:

$$\begin{aligned} Mu &= Cc (d - 0,5a) \text{ atau } Ts (d - 0,5a) \\ &= As.fy (d - 0,5.0,85c) \\ &= As.fy (d - 0.425c) \end{aligned}$$

Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 hal 15, dalam suatu perencanaan diambil faktor reduksi kekuatan, dimana besarnya untuk lentur tanpa beban aksial adalah sebesar 0,8; sehingga didapat:

$$\begin{aligned} Mu &= As.fy (d - 0,425c) \\ &= 0,8.\rho.b.d.fy (d - 0,425c) \end{aligned}$$

Substitusi harga c,

$$Mu = 0,8.\rho.b.d.fy \left(d - 0,425.1,384\rho.\frac{fy}{fc'}.d \right)$$

Bentuk di atas dapat pula dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{Mu}{b.d^2} = 0,8.\rho.fy \left(1 - 0,588.\rho.\frac{fy}{fc'} \right)$$

dimana:

- Mu = momen yang dapat ditahan penampang (Nmm)
- b = lebar penampang beton (mm)
- d = tinggi efektif beton (mm)
- ρ = rasio luas tulangan terhadap luas efektif penampang beton
- fy = mutu tulangan (Mpa)
- fc' = mutu beton (Mpa)

Dari rumus di atas, apabila momen yang bekerja dan luas penampang beton telah diketahui, maka besarnya rasio tulangan ρ dapat diketahui untuk mencari besarnya kebutuhan luas tulangan.

Persentase tulangan minimum, balance dan maksimum

- Rasio tulangan minimum (ρ_{min})

Rasio tulangan minimum ditetapkan sebesar $\frac{fy}{1,4}$

(SKSNI T-15-1991-03 hal 23)

- Rasio tulangan balance (ρ_b)

Dari gambar regangan penampang balok (Gambar 2.2) didapat:

$$\frac{c}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} = \frac{0,003}{0,003 + f_y/E_s}$$

Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 hal 9, ditetapkan E_s sebesar 2×10^5 Mpa, sehingga didapat :

$$\frac{c}{d} = \frac{600}{600 + f_y}$$

Keadaan balance:

$$0,85.f_c'. \beta.c.b = \rho.b.d.f_y$$

$$\rho = \frac{0,85.f_c'.\beta.c.b}{b.d.f_y}$$

$$\rho = \frac{600}{600 + f_y} \beta \frac{0,85.f_c'}{f_y}$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{max})

Berdasarkan SKSNI T15-1991-03 hal 23, besarnya ρ_{max} ditetapkan sebesar $0,75\rho_b$.

Perhitungan Tulangan Ganda

Apabila $\rho > \rho_{max}$ maka terdapat dua alternatif berdasarkan Buku CUR 1, Vis dan Gideon, hal 115-117, 1997 :

- Sesuaikanlah ukuran penampang balok
- Bila tidak memungkinkan, maka dipasang tulangan rangkap

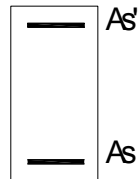
Dalam menghitung tulangan rangkap, total momen lentur yang dilawan akan dipisahkan dalam dua bagian: $Mu_1 + Mu_2$

Dengan:

$Mu_1 =$ momen lentur yang dapat dilawan oleh ρ_{max} dan berkaitan dengan lengan momen dalam z. Jumlah tulangan tarik yang sesuai adalah $As_1 = \rho_{max}.b.d$

$Mu_2 =$ momen sisa yang pada dasarnya harus ditahan baik oleh tulangan tarik maupun tekan yang sama banyaknya. Lengan

momen dalam yang berhubungan dengan ini sama dengan $(d - d')$.



Jumlah tulangan tarik tambahan A_{s2} sama dengan jumlah tulangan tekan $A_{s'}$, yaitu:

$$A_{s2} = A_{s'} = \frac{Mu - Mu_1}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d')}$$

2.4.4. Perhitungan *poer* (*pile cap*)

Struktur ini berfungsi sebagai penyambung antara ujung atas tiang pancang dengan balok memanjang maupun melintang. Struktur ini adakalanya tidak dipasang, jadi tiang pancang langsung bersambung ke balok di atasnya, untuk itu harus dipastikan balok cukup kuat menahan gaya tekan dan momen yang terjadi serta pelaksanaan di lapangan memungkinkan.

Bila digunakan *poer* ukurannya harus memenuhi syarat bagi jumlah tiang pancang yang akan dipasang di bawahnya. Disarankan jarak tepi *poer* terhadap tepi luar tiang minimal 15 cm sebagai ruang untuk selimut beton (7 cm) ditambah 4 kali diameter tulangan ditambah jarak untuk beton pengisi minimal 4 cm.

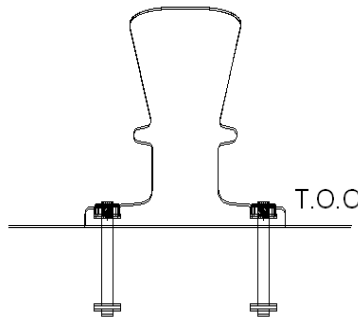
Untuk penentuan momen dan gaya lintang dapat ditentukan berdasar hasil perhitungan SAP atau yang lain.

2.4.5. Perencanaan *Bollard*

Bollard merupakan konstruksi untuk mengikat kapal pada tambatan. Posisi pengikat *boulder* terdapat di sekitar ujung depan (*bow*) dan di ujung belakang (*stern*). Perencanaan *boulder* diambil berdasarkan gaya terbesar di antara gaya tarik *boulder* sendiri, gaya angin dan gaya arus. Jarak pemasangan antara *boulder* satu dengan lainnya 20 – 25 m, letak dari tepi sisi laut 0 – 5 m

Tabel 2.4. Hubungan antara diameter boulder dengan gaya tarik

Diameter (cm)	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Gaya Tarik Ijin (ton)	5	10	20	35	50	70	100	120	150

**Gambar 2.17. Bollard**

2.4.6. Perencanaan Fender

Setelah perhitungan energi tumbukan yang timbul dapat ditentukan selanjutnya dilakukan pemilihan tipe *fender*.

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan sistem *fender*:

1. *Fender* harus memiliki kemampuan penyerapan energi kinetis lebih besar dibanding energi kinetik yang terjadi akibat tumbukan kapal ke *fender*.
2. Gaya reaksi yang timbul sebagai sisa energi kinetik yang tidak terserap oleh *fender* dicari yang menghasilkan angka terkecil.
3. Tekanan yang timbul dari sistem *fender* tidak boleh melebihi kemampuan menahan tekanan dari lambung kapal (=badan kapal).
4. Harus diperhatikan juga harga dan biaya konstruksi serta biaya perawatan bagi *fender* maupun tambatannya.


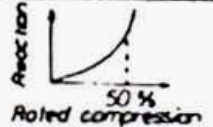
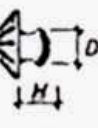
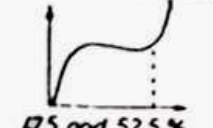

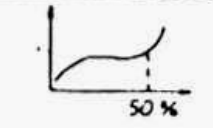

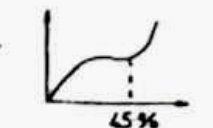



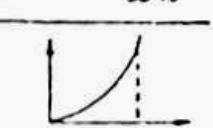
Dengan kata lain, pada waktu memilih *fender* harus diingat akan adanya energi tumbukan yang diabsorpsi *fender* ($=E_f$) dan gaya reaksi ($=P$) yang harus ditahan bangunan. Jadi pemilihan *fender* harus memperhatikan faktor yang memenuhi persyaratan. *Fender* yang ideal adalah yang mampu mengabsorpsi energi kinetik yang sebesar – besarnya dan mengubah ke bentuk gaya reaksi sekecil – kecilnya ke konstruksi dermaga.

Ada berbagai bahan dan bentuk, serta cara – cara pemasangan *fender*. Pemilihan bahan dan bentuk *fender* yang cocok tergantung dari cara bekerja yang diinginkan serta kemampuan pembiayaannya.

Ada berbagai tipe bahan untuk *fender* dermaga mulai dari kayu, beton, sampai karet. Dari ketiga jenis bahan tersebut, yang paling efektif menyerap energi, mudah dipasang, murah dan secara struktural menguntungkan adalah *fender* dari bahan karet atau dikenal sebagai rubber *fender*.

Meskipun demikian *fender* kayu masih banyak digunakan pada dermaga – dermaga lama di Indonesia maupun di tempat lain. *Fender* ini memiliki kelemahan bila kecepatan merapat kapal tinggi dapat merusak kapal karena penyerapan energinya tidak cukup besar. Tetapi bila pelabuhan terletak di tempat terlindung dan kecepatan merapat kapal dapat dikontrol, maka *fender* ini sangat menguntungkan dengan alasan tahan lama, dan relatif murah.

Ada berbagai macam bentuk dan kualitas *fender* karet sebagai hasil produksi beberapa perusahaan *fender* terkemuka di antaranya : Bridgestone, Seibu, Atlas, Yokohama, Trellex, Vredestein. Masing – masing *fender* tersebut dibedakan berdasarkan ketahanan mekanis karet, kemampuan terhadap ultraviolet, dan secara keseluruhan umur dari *fender* serta kemampuan menyerap energi, (Periksa Gambar 2-16) atau dapat dilihat di buku “*Design and Construction of Ports and Marine Structure*” oleh Alonzo DeF. Quinn hal. 330 – 393.

Type	Fendershape	Sizes $D/L, H_1, H_2$ in mm	Reaction kN	Energy kNm	Performance curve
Cylindrical		150/1000 2800/5800	80 6600	3 5000	
Cell		400/550 3000/3500	52 5800	8 6700	
V-type		250/1000 1000/2000	150 2290	15 940	
		200/1000 H L 1200/3500	150 3400	10 1500	
H-type		400/500 2500/4000	140 6900	22 7000	
Pneumatic		500/1000 4500/2000	50 8500	4 7000	

Gambar 2.18. Berbagai macam fender karet dan energinya

Bila diperhatikan , gaya tekan P menimbulkan pengaruh sekaligus pada dua arah , yaitu :

- Gaya horizontal yang terjadi pada dermaga.
- Tekanan maksimum yang mampu diterima oleh sisi badan kapal.

Jadi di samping gaya reaksi ke tambatan, maka adanya *fender* diharapkan juga tidak merusak sisi lambung (badan) kapal sebagai akibat tekanan tumbukan kapal merapat.

Fender yang tertumbuk kapal akan mengalami defleksi, dimana besarnya defleksi menentukan besarnya energi dan gaya reaksi yang terabsorpsi.

Besarnya defleksi *fender* merupakan perbandingan ukuran perubahan antara kondisi awal dengan kondisi pada waktu ditumbuk, dinyatakan dalam persen. Di dalam buku petunjuk (manual) yang dikeluarkan produsen *fender*, besarnya defleksi yang terjadi pada masing – masing jenis dan ukuran *fender* dinyatakan dalam tabel dan grafik. Defleksi maksimum berkisar antara 45% sampai 60%. Untuk perencanaan sebaiknya dipilih kondisi defleksi yang menghasilkan desain paling kritis.

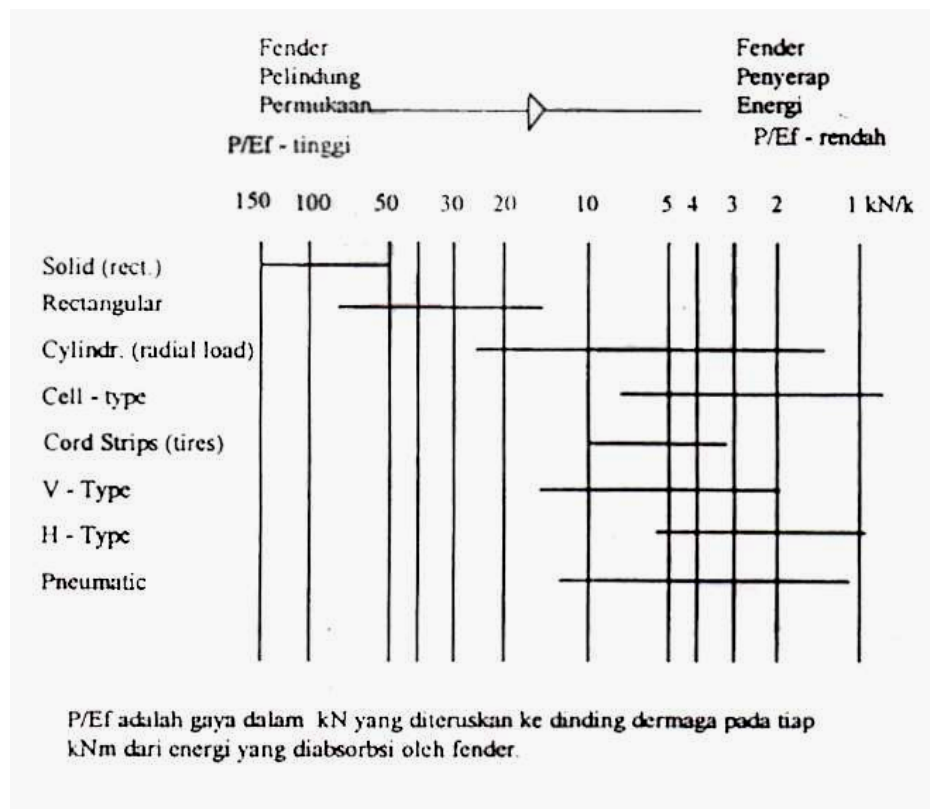
Pada prinsipnya, *fender* dapat dibagi dua kelompok berdasarkan sistem bekerjanya tumbukan pada *fender*, yaitu :

- *Fender* peredam energi (energy – absorbing *fender*)
- *Fender* pelindung permukaan (surface – protecting *fender*)

Fender peredam energi merupakan *fender* yang bekerjanya menampung energi tumbukan (energi kinetik) yang timbul akibat sistem merapatnya kapal. Hal ini terjadi terutama kapal yang merapat tanpa bantuan *tug boat* (kapal pandu), dan pada pelabuhan – pelabuhan yang berada di laut terbuka, sehingga kecepatan merapat kapal relatif sulit dikendalikan. Tipe *fender* ini dipilih dari *fender* yang memiliki P/E_f rendah.

Sedang *fender* pelindung permukaan hanya berfungsi melindungi permukaan dermaga, dan cocok untuk menampung kapal – kapal yang memiliki kecepatan merapat terkontrol, jadi kapal – kapal yang merapat di sini harus berkecepatan rendah, karena jika tidak pelan dapat merusak lambung kapal maupun tambatan sendiri. Tipe *fender* ini ditandai dengan harga P/E_f tinggi.

Di samping itu ada berbagai bentuk dari *fender* yang performasinya dapat di antaranya diukur dari perbandingan P (gaya tekan beban radial) terhadap E_f (energi *fender*) mulai dari P/E_f tinggi sampai yang rendah dan dengan E_f kecil sampai E_f besar. (**Periksa Gambar 2-19** menunjukkan harga P dan E_f dari masing – masing tipe *fender* dan P/E_f -nya)



Gambar 2.19 – Faktor P/Ef untuk berbagai fender karet

2.5. Perencanaan konstruksi bawah dermaga (*lower structure*)

2.5.1. Pemilihan tiang pancang

Tipe material untuk tiang pancang meliputi : kayu, beton *precast*, beton prestress, pipa baja bulat maupun kotak dengan atau tanpa sepatu tiang, baja pita yang dibentuk pipa, profil baja bentuk I atau H dengan atau tanpa selimut beton, tiang ulir baja, dan sebagainya. Penjelasan mengenai tipe-tipe tiang pancang sebagai berikut :

1. **Tiang Pancang Kayu**, hanya digunakan pada dermaga untuk sandar kapal rakyat di bawah 100 DWT, mampu menembus tanah dengan SPT maksimum 25 dan kedalaman 15 m, di samping itu umur konstruksi sangat pendek maksimum 15 tahun bila dirawat dapat sedikit lebih lama. Dengan harga kayu yang berkualitas baik makin mahal tiang ini menjadi semakin jarang digunakan.
2. **Tiang Pancang Beton**, baik *precast* maupun prestress memiliki keuntungan harganya murah dan tidak membutuhkan bahan pelindung anti korosi.

Kerugiannya adalah kekuatan bahan rendah dan bila terlalu berat akan menyulitkan pengangkatan, tidak bisa menembus lapisan tanah keras (maksimum SPT < 40), bila dipancang lebih dari 15 m cenderung pecah atau meleset di bagian bawah, posisi sambungan akan banyak dan merupakan titik terlemah menghadapi gaya horizontal setempat tetapi kuat terhadap gaya vertical dalam hal ini berupa tekan.

3. **Tiang Pancang Baja**, dengan berbagai tipe yang ada dapat dipilih sesuai kondisi tanah setempat, dimana pipa baja dengan sepatu dapat menembus SPT < 60 blow/10 cm sedang baja profil dapat menembus hingga SPT = 125. Penggunaan pipa baja berdiameter besar akan mampu bertahan terhadap tekanan gelombang.

2.5.2. Perencanaan tiang pancang

Dalam analisa dan desain pondasi tiang pancang menggunakan program SAP 2000, tumpuan diasumsikan jepit dengan terlebih dahulu dilakukan perhitungan letak titik jepit yang terjadi dalam tanah.

2.5.2.1. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang

1. Terhadap kekuatan bahan

$$A \text{ tiang} = F_b + n F_e$$

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

$$\sigma_b = 0.33 \sigma_k \quad (\text{Muhrozi, Diktat Mata Kuliah Rekayasa Pondasi II})$$

dimana :

F_b = Luas penampang dasar tiang pancang

nF_e = Luas selimut tiang pancang

P = Daya dukung

$$\sigma_b = 0.33 \sigma_k$$

σ_k = Tegangan ijin bahan

2. Terhadap pemancangan

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

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

(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

C_1 = Tekanan izin sementara pada kepala tiang dan penutup

C_2 = Simpangan tiang akibat tekanan izin sementara

C_3 = Tekanan izin sementara

R_u = Batas maksimal beban (ton)

P_a = Batas beban izin yang diterima tiang

$P_a = 1/n \times R_u$

3. Terhadap kekuatan tanah

Dengan rumus daya dukung pondasi tiang pancang Mayerhoff (1956)

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

(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 (m^2)

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

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

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

2.5.2.2. Perhitungan Efisiensi Tiang

Efisiensi grup tiang pancang :

$$\text{Eff} = 1 - \frac{\theta}{90} \left\{ \frac{(n-1)m + (m-1)^n}{m.n} \right\}$$

(Muhrozi, Diktat Mata Kuliah Rekayasa Pondasi II)

Dimana :

m = jumlah baris

n = jumlah tiang dalam satu baris

θ = arc tan (d/s)

d = diameter tiang

s = jarak antar tiang (as ke as)

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

$$Q = \text{Eff} \times Q \text{ tiang}$$

(Muhrozi, Diktat Mata Kuliah Rekayasa Pondasi II)