

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Umum

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

Demikian juga dengan dermaga peti kemas Pelabuhan Trisakti di Kota Banjarmasin. Dermaga peti kemas adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang khususnya peti kemas. Berdasarkan Master Plan Pelabuhan Banjarmasin th. 2000 – 2025, arus peti kemas telah meningkat sebesar 30.064 TEU`s dari tahun 1994 menjadi 112.690 TEU`s pada akhir tahun 1999 dengan angka pertumbuhan rata – rata 5 tahun terakhir adalah sebesar 25,30 % per tahun. Sehingga dari data tersebut dapat diproyeksikan besarnya arus peti kemas pada akhir tahun 2025 adalah sebesar 1.084.651 TEU`s. Dengan adanya peningkatan arus peti kemas ini, dijadikan dasar penulis untuk merencanakan pengembangan dermaga peti kemas pada Pelabuhan Trisakti di Kota Banjarmasin sehingga tidak mengalami kendala di dalam proses pelayanannya di masa yang akan datang.

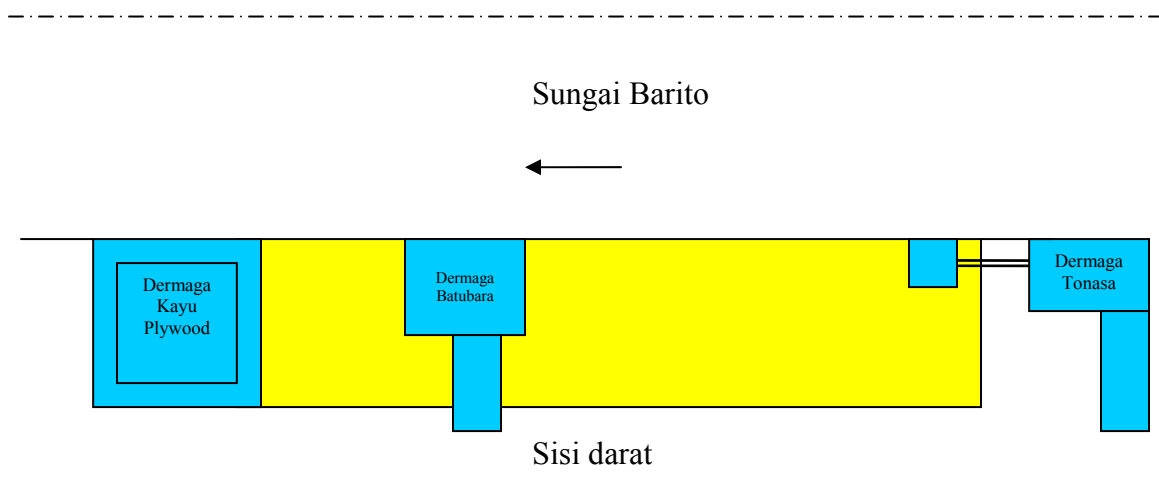
Pada perencanaan dermaga peti kemas di Pelabuhan Trisakti pertimbangan-pertimbangan pokok yang diperlukan adalah :

1. Panjang dan lebar dermaga disesuaikan dengan kapasitas atau jumlah kapal yang akan berlabuh.
2. Jalur khusus untuk gantry crane dan jalan untuk pemuatan dari kapal ke ruang yang cukup di lapangan penumpukan peti kemas atau sebaliknya.
3. Tempat sandar (*berth*) dermaga peti kemas menggunakan bentuk menerus (*wharf/quay*), bukan bentuk *pier* atau berbentuk jari.
4. Lebar dermaga cukup untuk pengoperasian *trailer, straddle carrier, forklift truck*, dan *gantry crane*.



Dermaga peti kemas Pelabuhan Trisakti ini terletak di antara ex dermaga batubara dan Dermaga Semen Tonasa yang sudah ada sebelumnya (kondisi eksisting). Penentuan *layout* dari dermaga peti kemas ini dilakukan dengan memperhatikan aspek-aspek sebagai berikut :

- Penyediaan fasilitas-fasilitas dasar pelabuhan (alur keluar dan masuk kapal, dermaga, dan lain – lain)
- Navigasi kapal.
- Pengaruh sedimentasi, gelombang, angin, arus dan pasang surut.
- Pengembangan/perluasan pelabuhan dimasa yang akan datang.

Sehingga pada proses pelaksanaannya akan dilakukan pembongkaran terhadap ex dermaga batubara dan sebagian dari dermaga semen Tonasa sebagaimana ditunjukkan gambar berikut ini :



Keterangan :

1.  kondisi eksisting
2.  rencana dermaga baru

Gambar 2.1. *Lay Out* dermaga peti kemas

Penanganan bongkar muat di dermaga peti kemas Pelabuhan Trisakti menggunakan system operasi *Lift on/Lift off (Lo/Lo)*. Pada *Lift on/Lift off operation*, peti kemas dari kapal digunakan *porttrainer/gantry crane* ke truk/dermaga atau sebaliknya.

Peti kemas, barang yang akan dibongkar muat itu sendiri merupakan suatu kotak yang terbuat dari bahan anti karat (campuran antara baja dan tembaga) dengan pintu yang dapat dikunci dan pada tiap-tiap sisinya serta dipasang suatu “*corner fitting and twist lock*”. Hal ini berguna sebagai pegangan gantry crane pada saat proses bongkar muat dan sebagai pengunci antara peti kemas yang satu dengan yang lain pada saat ditumpuk di lapangan penumpukan ataupun di kapal. Adapun dimensi dari peti kemas yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Dimensi peti kemas

	20 ft x 8 ft x 8 ft		20 ft x 8 ft x 8 ft 6 in		40 ft x 8 ft x 8 ft 6 in	
	Atap Gelombang	Atap Rata	Atap Gelombang	Atap Rata	Atap Gelombang	Atap Rata
Dimensi peti kemas (mm)						
Panjang	5 897	5 897	5 897	5 897	12 022	12 022
Lebar.....	2 352	2 352	2 352	2 352	2 352	2 352
Tinggi.....	2 246	2 221.5	2 395.5	2 371	2 395.5	2 371
Dimensi pintu (mm)						
Lebar... ..	2 340	2 340	2 340	2 340	2 340	2 340
Tinggi... ..	2 137	2 137	2 280	2 280	2 280	2 280
Volume peti kemas (meter kubik)	31.5	30.8	33.2	32.9	67.7	67.0
Berat kosong (kilogram)	2 230	2 260	2 300	2 330	4 050	4 100
Kapasitas tumpukan	9 tumpuk	9 tumpuk	9 tumpuk	9 tumpuk	9 tumpuk	9 tumpuk

Sumber : “United Nations Conference On Trade And Development”, hal 141, 1985

2.2. DASAR – DASAR PERENCANAAN DERMAGA PETI KEMAS

Pedoman atau dasar perencanaan yang digunakan dalam dalam perencanaan dermaga petikemas di pelabuhan Trisakti secara umum dari buku-buku di bawah ini :

- Dasar – Dasar Perencanaan Beton Bertulang, Vis dan Gideon, 1997
- Konstruksi Penahan Tanah, Gunadarma, 1997
- Menghitung Beton Bertulang, Udiyanto, 2000
- PCI Journal, Precast/Prestressed Concrete Institute, 2001
- Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, 1996
- Perencanaan Beton Bertulang Dasar SKSNI T-15-1991-03

- Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement), Ari Suryawan, 2005
- Pile Design and Construction Practice, M.J. Tomlinson, 1977
- Port Terminal, H Ligteringen, TU Delft, The Netherlands, 2000
- Pondasi Dalam dan Pondasi Dangkal, Gunadarma, 1997
- Principles of Pavement Design, Yoder & Witezak, 1975
- Rekayasa Gempa, Himawan Indarto, 2004
- Shore Protection Manual, Department of The Army US Army Corps of Engineers, Washington DC, 1984
- Structural Analysis, Aslam Kassimali, 1999
- Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo, 1996
- “Port Development” A Handbook for Planners in Developing Countries, IHE Delft, The Netherlands, 1985
- The Theory and Practice of Reinforced Concrete, Clarence W Dunham, C.E, Yale University, New York, 1958

Disamping tersebut diatas penulis juga menggunakan literatur-literatur lain baik dari diktat kuliah maupun sumber lain yang juga mendukung sebagai acuan di dalam perencanaan dermaga peti kemas.

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

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

a. Kedalaman Alur Pelayaran

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan kedalaman alur ideal adalah :

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

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 167, 1997)

Dimana :

H = Kedalaman total air di alurpelayaran saat muka air terendah

d = *draft* kapal (meter)

G = gerakan vertikal kapal karena gelombang..

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

B = lebar kapal (m)

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

Δ = volume air yang dipindahkan (m³)

Lpp = 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.

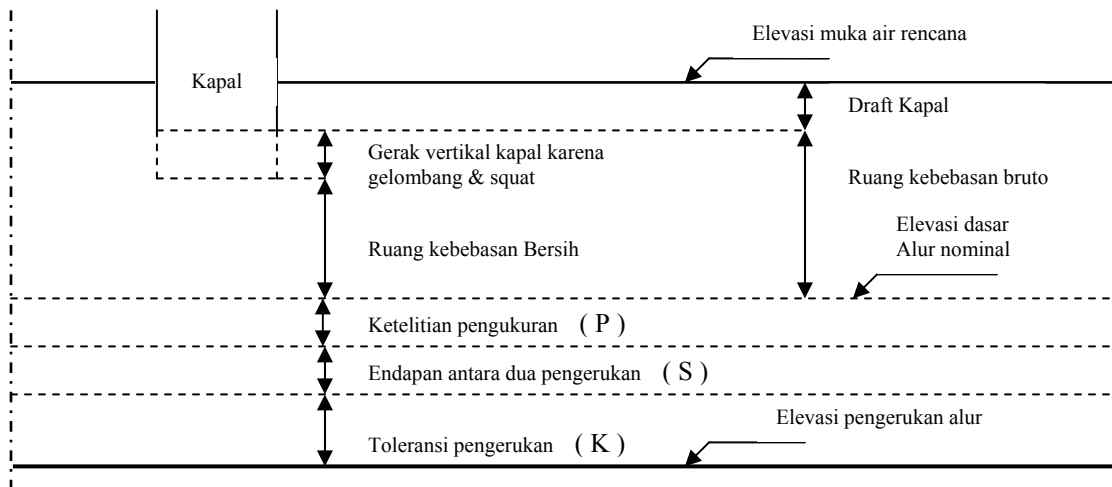
Pantai pasir = 0,50 m.

Karang = 1,00 m

S = Endapan sediment diantara dua pengerukan.

K = Toleransi pengerukan.

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



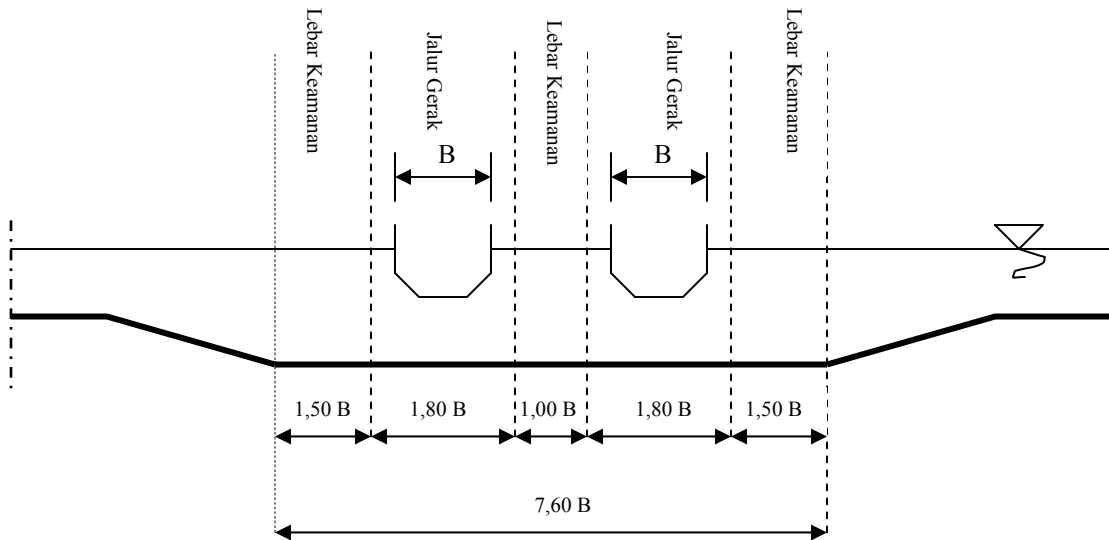
Gambar 2.2 Kedalaman Alur Pelayaran

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 2.3 Lebar Alur Dua Jalur

2.3.2. Perencanaan Dermaga Peti Kemas

a. Tipe Dermaga

Pemilihan tipe dermaga dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya :

- Letak dan kedalaman perairan dermaga yang direncanakan.
- Beban muatan yang harus dipikul oleh dermaga.
- Sebagai konstruksi sementara atau tetap.
- Kondisi tanah perairan yang bersangkutan.
- Tinjauan ekonomis.

Dengan mempertimbangkan letak dermaga yang berada di alur sungai Barito, maka dipilih dermaga dengan tipe *Wharf* atau *Quai*. *Wharf* atau *Quai* merupakan dermaga yang dibangun pada garis pantai (dalam hal ini tepi Sungai Barito) atau relatif dekat atau sejajar dengannya.

b. Panjang Dermaga

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

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 167, 1997)

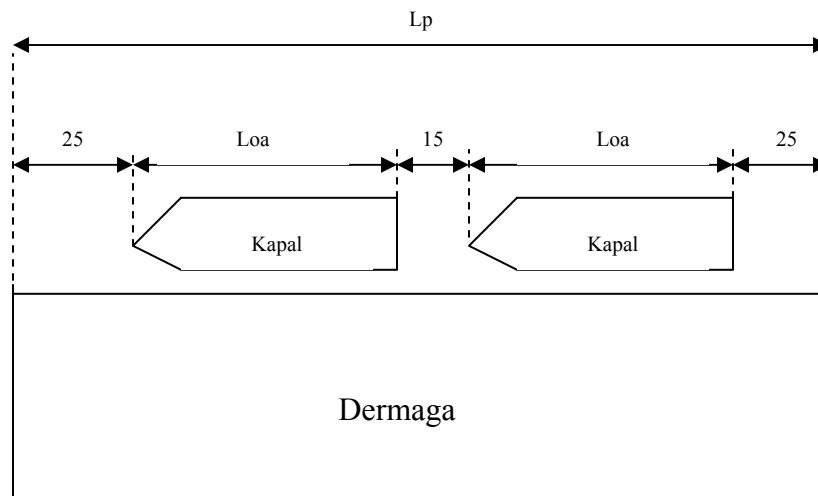
$$L_p = nL_o + (n-1) 15,00 + (2 \times 25,00)$$

$$d = L_p - 2e$$

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

Dimana :

- Lp = panjang dermaga (m)
- A = luas gudang
- 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)



Gambar 2.4 Panjang Dermaga

Pada perencanaan dermaga kali ini, hanya di desain panjang dermaga saja, tanpa memperhitungkan panjang dan lebar gudang.

c. Lebar Dermaga

Lebar dermaga yang dipersiapkan untuk bongkar muat peti kemas disesuaikan dengan kebutuhan ruang dengan perhitungan yang cukup untuk pengoperasian peralatan yang digunakan seperti trailer, straddle carrier, forklift truck, dan gantry crane.

d. Elevasi Dermaga

Hal-hal yang menentukan elevasi dermaga adalah tinggi pasang surut, tinggi gelombang ditambah dengan tinggi jagaan 1 m.

f. Gaya-gaya yang bekerja 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 :

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 170, 1997)

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

Dimana :

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

V = kecepatan kapal saat merapat (m/det)

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

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

k = koefisien kapal besar = 0,7

L = panjang kapal (ft)

B = lebar kapal (ft)

D = draft (ft)

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

Cs = koefisien kekerasan (diambil 1)

Cc = koefisien bentuk dari tambatan (diambil 1)

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

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, 1997, hal 170 - 171)

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

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

Dimana : Cb = koefisien blok kapal

d = draft kapal (m)

B = lebar kapal (m)

Lpp = panjang garis air (m)

γ_o = berat jenis air laut (t/m³)

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

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 171, 1997)

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

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

l = 1/4 Loa (dermaga) (m)

l = 1/6 Loa (dolphin) (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.

Besar gaya angin tergantung pada arah hembus angin dan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

(Pelabuhan, Bambang Triatmojo, hal 172 – 173, 1997)

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

$$Rw = 0,42 \times Qa \times Aw$$

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

$$Rw = 0,50 \times Qa \times Aw$$

- c. Gaya lateral, apabila angin datang dari arah lebar ($\alpha = 90^\circ$)

$$Rw = 1,1 \times Qa \times Aw$$

$$Qa = 0,063 \times V^2$$

Dimana : Rw = gaya akibat angin (kg)

Qa = tekanan angin (kg/m)

V = kecepatan angin (m/det)

Aw = proyeksi bidang kapal yang tertiuip angin (m²)

3. Gaya akibat arus

Besarnya gaya yang ditimbulkan oleh arus ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 173, 1997)

- a. Gaya tekanan karena arus yang bekerja pada haluan

$$Rf = 0,14 \times S \times V^2$$

- b. Gaya tekanan karena arus yang bekerja pada arah sisi kapal

$$Rf = 0,50 \times \rho \times C \times V^2 \times B`$$

Dimana : R = gaya akibat arus (kgf)

S = luas tumpang kapal yang terendam oleh air (m^2)

ρ = rapat massa air laut ($\rho = 104,5 \text{ kgf d/m}^4$)

C = koefisien tekanan arus

V = kecepatan arus (m/d)

B' = luas sisi kapal di bawah permukaan air (m^2)

Gaya akibat arus tidak diperhitungkan dalam perencanaan dermaga peti kemas ini karena besarnya tidak signifikan.

2.3.3 Perencanaan Konstruksi Dermaga Peti Kemas

Pada konstruksi dermaga, pengerjaan pembetonan banyak dilakukan di laut dan memiliki tingkat kesulitan yang relatif tinggi. Untuk mengatasinya maka digunakan beton precast yang bertujuan meningkatkan efisiensi kerja yang lebih tinggi tanpa mengurangi mutu yang telah direncanakan.

Garis besar dari perencanaan dermaga ini adalah dengan membuat elemen – elemen precast yaitu plat precast, balok precast dan poer di bengkel kerja (*workshop*), kemudian dirangkai menjadi satu di atas pondasi tiang pancang. Setelah semua elemen terangkai, dilakukan proses pengecoran lapisan atas (*topping off*) dari semua elemen precast sehingga menjadi satu kesatuan (monolit).

Pada prinsipnya penggunaan beton precast ini adalah memindahkan sebagian besar pekerjaan pembetonan yang dilakukan di lokasi menjadi di pabrik, atau dengan kata lain merubah sebagian besar pekerjaan pembetonan insitu menjadi pembetonan dengan cara precast.

Pekerjaan pembetonan pada konstruksi dermaga dengan menggunakan beton precast mempunyai beberapa kelebihan dan keuntungan dibandingkan dengan cara konvensional, diantaranya :

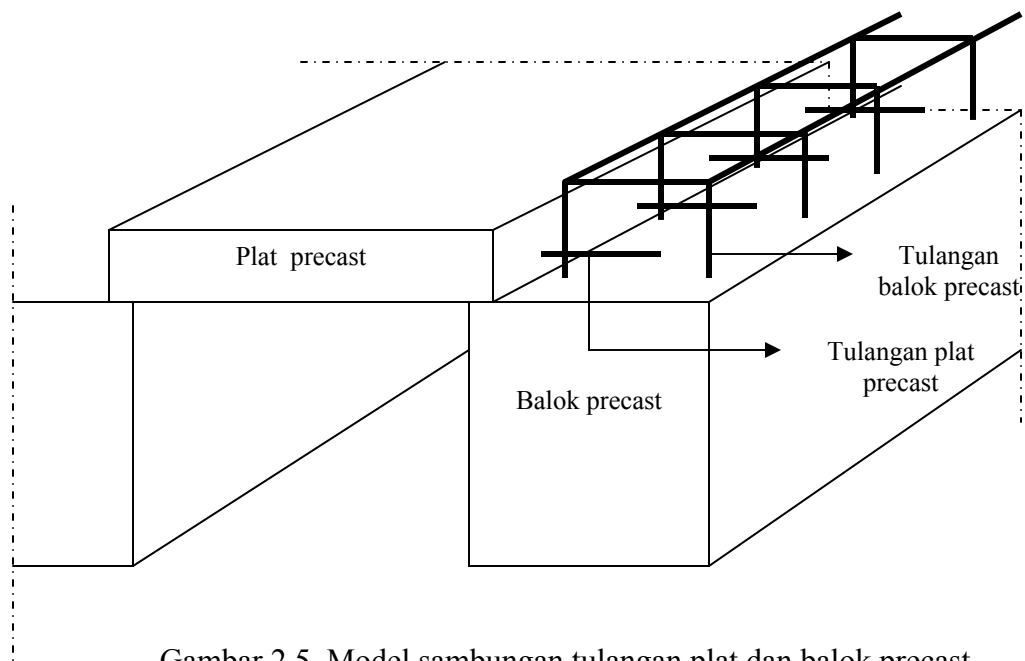
- Penghematan bekisting, karena casting beton precast dilakukan di *workshop* dan juga elemen precast tersebut juga berfungsi sebagai bekisting sewaktu diinstal di sungai.
- Tingkat pengerjaan beton precast yang relatif lebih mudah dibandingkan dengan pengerjaan dermaga konvensional.

- Waktu pengerjaan yang relatif lebih singkat, karena banyak pekerjaan yang *seri*, dapat diparalelkan.
- Penggunaan jumlah sumber daya (pekerja) yang relatif kecil pada pekerjaan pembetonan dengan beton precast dibandingkan pekerjaan pembetonan konvensional. Hal ini dikarenakan proses casting (pengecoran beton precast) dengan instalasi elemen precast tidak bersamaan waktunya, sehingga sebagian grup pekerja casting dapat ditarik ke pekerjaan di laut.

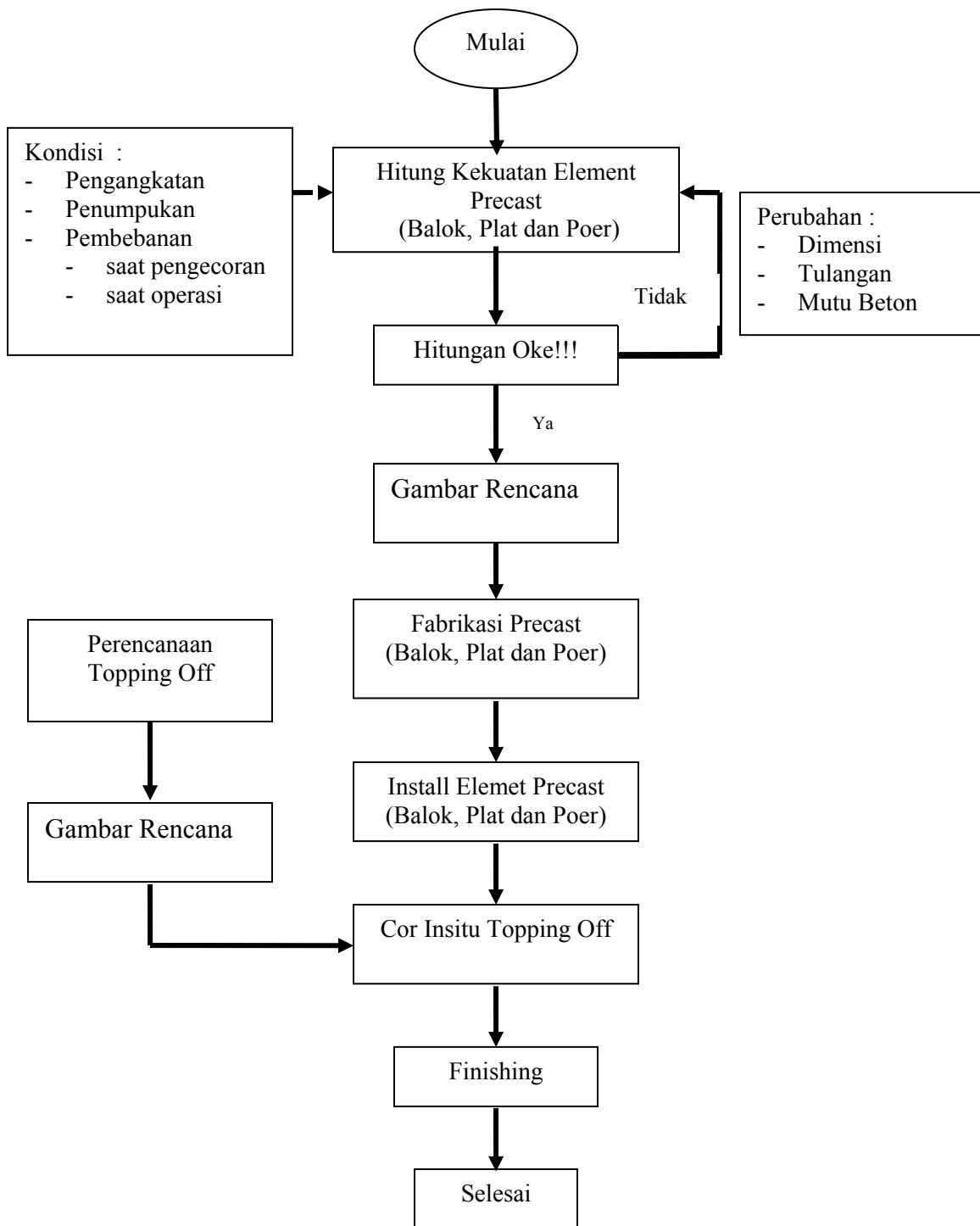
Selain elemen-elemen precast, terdapat juga balok cor insitu yang direncanakan sebagai landasan dari jalur gantry crane. Penggunaan cor insitu ini karena balok menerima beban sangat besar.

A. Perencanaan Elemen Precast Secara Umum.

Dermaga peti kemas Pelabuhan Trisakti ini direncanakan dengan menggunakan elemen-elemen precast yaitu balok, plat dan poer. Setelah fabrikasi element precast selesai kemudian dilakukan penginstallan. Plat precast ditumpukan pada balok pada kedua sisi platnya, selanjutnya akan dilakukan pengecoran (topping off) pada permukaan plat secara menerus tersebut. Sehingga plat precast pada perencanaan dermaga ini tidak hanya berfungsi sebagai bekisting saja tetapi termasuk struktur elemen dermaga. Supaya elemen-elemen precast tersebut menjadi satu kesatuan (monolit), pada permukaan plat precast dibuat kasar dan setiap elemen precast plat dan balok disatukan dengan tulangan-tulangan yang berfungsi sebagai shear connector. Sedangkan poer hanya berfungsi sebagai media perletakan beban balok ke pondasi tiang pancang.



Gambar 2.5. Model sambungan tulangan plat dan balok precast



Gambar 2.6 Diagram Perencanaan Elemen Precast

Kondisi – kondisi yang diperhitungkan di dalam perencanaan dermaga menggunakan elemen precast ini meliputi :

1. Kondisi Pengangkatan.

- a. Pengangkatan plat precast.
- b. Pengangkatan balok precast.

Tahap pengangkatan meliputi proses setelah elemen precast selesai dicor di area pengecoran untuk kemudian dipindahkan ke area penumpukan. Proses pengangkatan menggunakan 2 buah tumpuan pada elemen precast yang dipindahkan dengan bantuan crane.

2. Kondisi Penumpukan.

- a. Penumpukan plat precast.
- b. Penumpukan balok precast.

Tahap penumpukan elemen-elemen precast dilakukan di area penumpukan sambil menunggu selesainya struktur pondasi. Hal ini bertujuan agar pada saat struktur pondasi telah selesai elemen-elemen precast tersebut dapat langsung di instal.

3. Kondisi Pembebanan.

- a. Pembebanan plat precast. (saat pengecoran *topping off*)

Sebagaimana telah disebut di atas, plat precast berfungsi sebagai bekisting pada saat *topping off*. Sehingga beban yang diperhitungkan pada saat plat precast di instal hanyalah beban akibat berat sendiri plat precast, beban *topping off* dan beban pekerja.

- b. Pembebanan plat precast + *topping off*. (saat operasi)

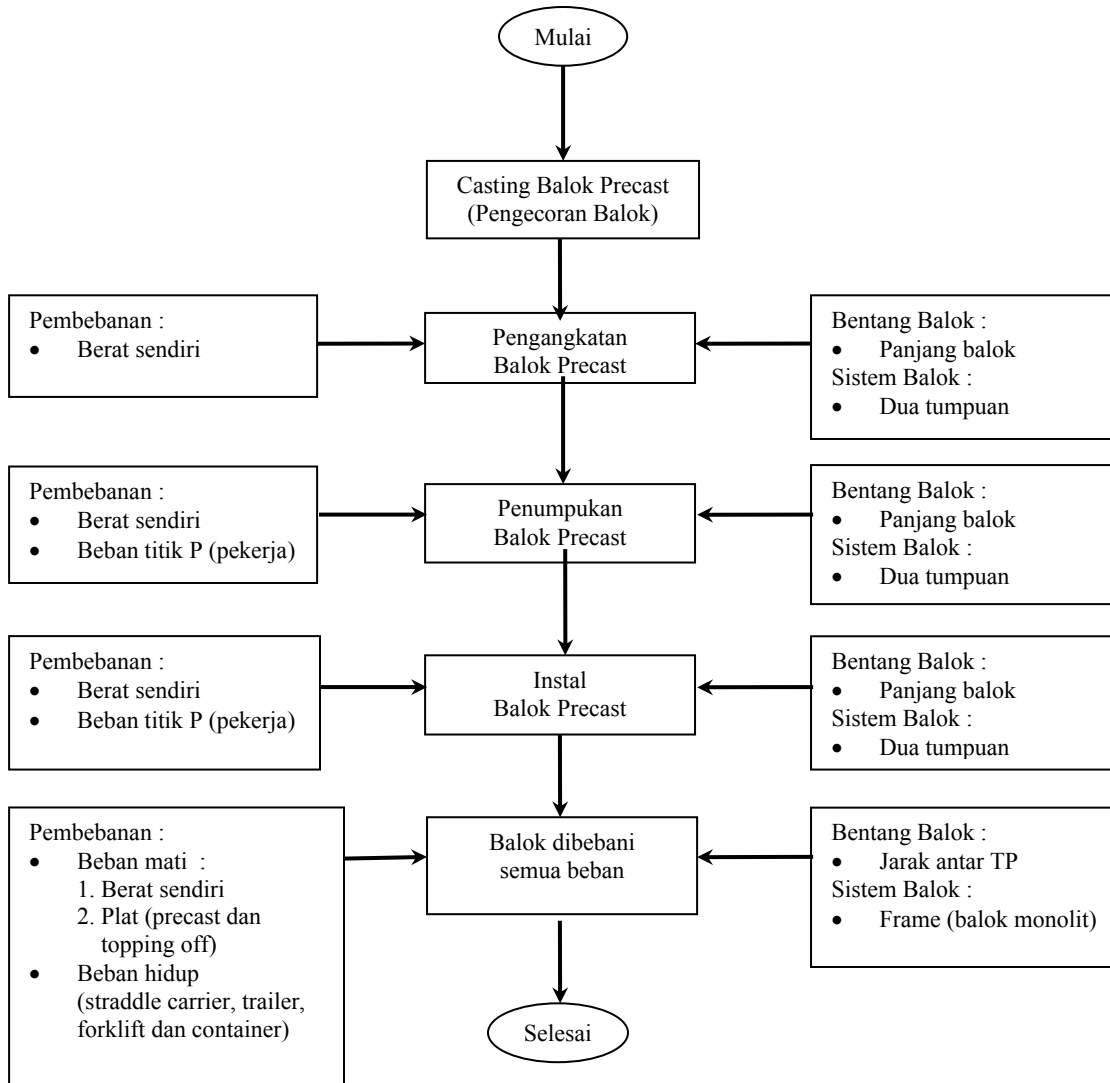
Setelah selesai dilakukan *topping off*, tebal plat beton secara keseluruhan menjadi bertambah tebal, yaitu merupakan jumlah dari tebal plat precast dengan tebal *topping off*. Beban yang diperhitungkan meliputi beban mati (akibat berat sendiri plat precast dengan *topping off*), dan beban hidup (akibat trailer, forklift truck, straddle carrier dan container).

c. Pembebanan balok precast. (saat operasi)

Elemen balok precast menerima beban mati (akibat berat sendiri, beban plat precast + topping off), dan beban hidup (akibat trailer, forklift truck, straddle carrier dan container).

B. Perencanaan Balok Precast.

Perencanaan elemen balok precast berdasarkan berbagai tahapan yang dilalui oleh element balok precast tersebut.

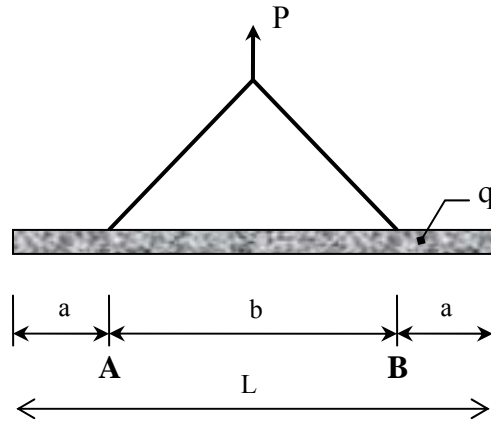


Gambar 2.7 Diagram Perencanaan Balok Precast

Kondisi yang diperhitungkan untuk elemen balok precast adalah :

1. Kondisi Pengangkatan Balok Precast.

Pada tahap pengangkatan, elemen balok precast diangkat menuju tempat penumpukan. Pada saat pengangkatan diperhitungkan besarnya pembebanan yang bekerja pada elemen yaitu sebesar berat sendiri dari balok tersebut.

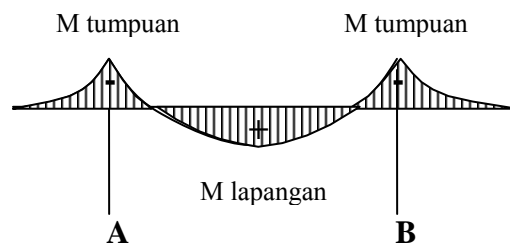


Dimana :

L = panjang balok precast (m)

q = beban merata (t/m)

Bidang Momen yang Terjadi



Momen maksimum :

- Lapangan :

$$M = q/8.(b^2 - 4a^2)$$

- Tumpuan :

$$M = 1/2.q.a^2$$

(Structural Analysis, Aslam Kassimali, hal 160, 1999)

Cara menghitung kekuatan gantungan pada saat pengangkatan balok precast :

$$\text{Beban} = q \cdot L$$

$$P = \text{beban tiap - tiap gantungan} = 1/2 \cdot q \cdot L$$

$$\sigma_y = \frac{P}{A_s}$$

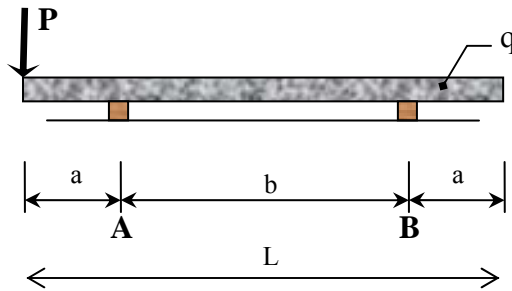
$$= \frac{1/2 \cdot q \cdot L}{A_s} \longrightarrow A_s = \text{luas tulangan (mm)}$$

Cek kekuatan gantungan :

$$\sigma_y \text{ terjadi} \leq \sigma_y \text{ (ijin)...oke!}$$

2. Kondisi Penumpukan Balok Precast.

Pada area penumpukan, balok disusun sedemikian rupa diatas 2 buah tumpuan untuk menunggu tahapan berikutnya yaitu tahap penginstallan. Pada tahap penumpukan selain berat sendiri juga diperhitungkan beban titik P (beban pekerja) pada perhitungan pembebanannya. Kemudian elemen balok tersebut diangkat menuju lokasi dermaga untuk melalui tahap penginstallan

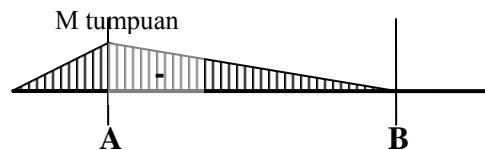


Dimana :

L = panjang balok precast

P = beban pekerja

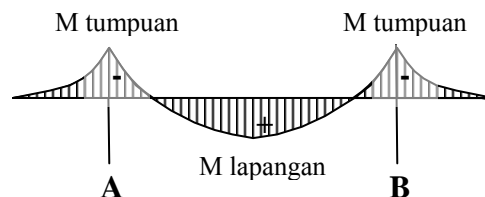
Bidang Momen Akibat Beban P di Tepi



Momen maksimum :

- Lapangan : tidak perlu ditinjau (karena nilainya negatif)
- Tumpuan : $M = a.P$

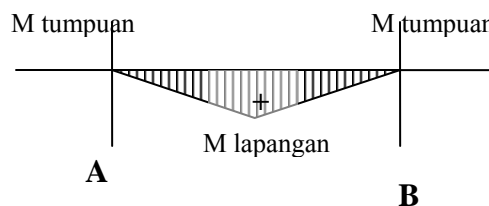
Bidang Momen Akibat Beban Sendiri



Momen maksimum :

- Lapangan : $M = q/8.(b^2 - 4a^2)$
- Tumpuan : $M = \frac{1}{2}.q.a^2$

Bidang Momen Akibat Beban P di tengah Bentang



Momen maksimum :

- Lapangan : $M = \frac{1}{4}.b.P$
- Tumpuan : $M = 0$

Superposisi momen maksimum yg terjadi akibat kombinasi pembebanan di atas :

- Lapangan : $M = q/8.(b^2 - 4a^2) + \frac{1}{4}.b.P$
- Tumpuan : $M = a.P + \frac{1}{2}.q.a^2$

(Structural Analysis, Aslam Kassimali, hal 160, 1999)

3. Kondisi Pembebanan Balok Precast

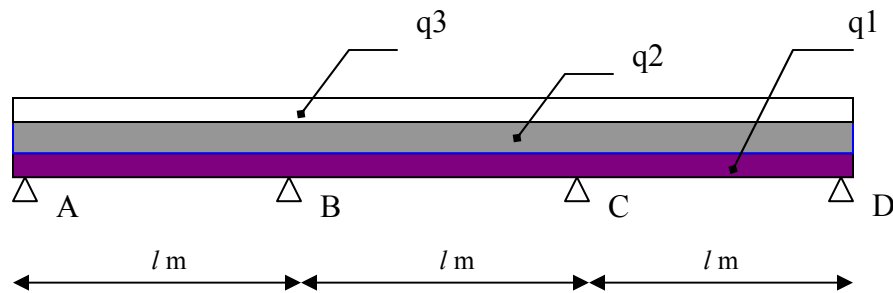
Tahapan terakhir yaitu pada saat balok menerima seluruh beban struktur di atasnya. Pembebanan yang terjadi meliputi beban mati (berat sendiri balok dan berat plat precast dan topping off) dan beban hidup (straddle carrier, trailer, forklift truck dan container).

Diasumsikan beban hidup yang terjadi diambil yang terbesar yaitu dari beban container.

a. Perhitungan Momen akibat Beban Primer

a.1. Menggunakan Metode Cross

(karena merupakan struktur statis tak tentu)



q_1 = berat sendiri balok precast \rightarrow t/m

q_2 = berat plat keseluruhan (plat precast + topping off) \rightarrow t/m

q_3 = berat beban hidup (container) \rightarrow t/m

Cara menghitung momen dengan metode cross (distribusi momen):

a. Menentukan nilai-nilai bagi untuk masing-masing batang :

- Menentukan kekakuan batang tiap-tiap batang

$$k_n = \frac{i_n}{l_n}$$

k_n = kekakuan batang

i_n = momen lembam (diasumsikan 1 karena jenis bahan sama)

l_n = panjang batang

- Menentukan koefisien distribusi pada titik simpul

$$\mu = \frac{k_n}{\sum k} \quad \mu = \text{koefisien distribusi}$$

- Menentukan koefisien reduksi tiap-tiap batang (γ)
Tumpuan rol atau sendi tidak bisa menyalurkan momen jadi koefisien reduksi menjadi 0
- b. Menentukan momen jepit yang diambil sesuai rumus-rumus momen jepit yang sesuai.
- c. Mendistribusikan momen yang telah didapat
- d. Menjumlahkan seluruh momen sehingga didapat momen tumpuan
- e. Mencari momen lapangan

a.2. Menggunakan Program SAP 2000 versi 8

Perhitungan Beban

Beban yang diperhitungkan dalam program SAP 2000 sama dengan beban yang diperhitungkan dalam metode cross, ditambah dengan adanya beban gempa, beban tarikan kapal, beban benturan kapal dan beban angin.

Perhitungan Gempa

Analisis pembebanan gempa yang digunakan adalah analisis dinamik yaitu menggunakan respon spektrum yang dihitung secara tiga dimensi dengan menggunakan program SAP 2000 versi 8.

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 (Rekayasa Gempa, Himawan Indarto, hal 12, 2004).

- *Faktor Jenis Struktur (K)*

Faktor jenis struktur (K) dimaksudkan agar struktur bangunan mempunyai kekuatan lateral yang cukup, untuk menjamin agar daktilitas dari struktur yang diperlukan, tidak lebih besar dari daktilitas yang tersedia pada sistem struktur pada saat terjadi gempa kuat. Struktur bangunan dengan tingkat daktilitas yang cukup (struktur daktail/tidak elastis), memerlukan nilai faktor K yang rendah. Sedangkan pada struktur bangunan yang bersifat elastis (struktur tidak daktail) memerlukan nilai faktor K yang tinggi, agar struktur mempunyai ketahanan yang cukup selama terjadinya gempa.

Struktur dermaga termasuk didalam jenis struktur tidak daktail/elastis dan mempunyai nilai faktor jenis struktur (K) 4 (Rekayasa Gempa, Himawan Indarto, hal 12, 2004).

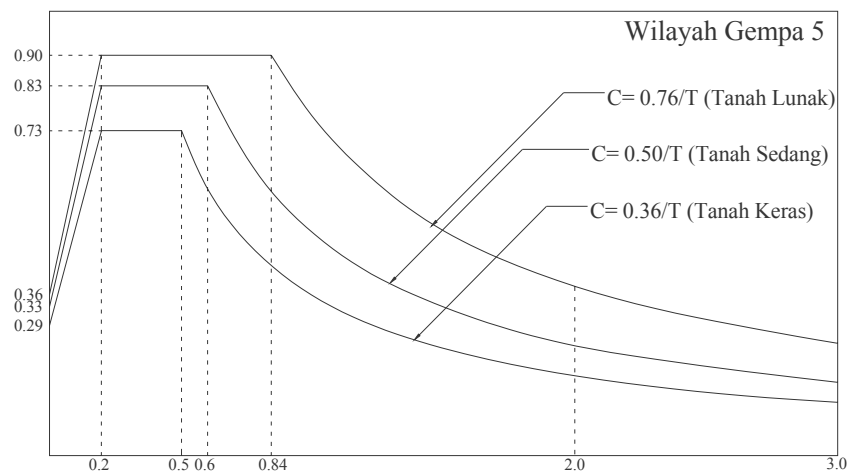
- *Faktor Spektrum Respon Gempa (C)*

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 Banjarmasin dan berdasarkan peta wilayah kegempaan, Banjarmasin termasuk dalam zona 5.



Gambar 2.8 Spektrum respon Gempa Zona 5

Penentuan Jenis Tanah

Tiga jenis tanah dasar harus dibedakan dalam memilih harga C, yaitu tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak. Definisi dari jenis tanah ditentukan berdasarkan kekuatan geser tanah (shear strength of soil) seperti tercantum dalam tabel di bawah ini :

Tabel 2.2 Definisi Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak
Kedalaman Lapisan Tanah Keras (m)	Nilai rata-rata Kekuatan Geser Tanah : S (Kpa)		
5	$S > 55$	$45 \leq S \leq 55$	$S < 45$
10	$S > 110$	$90 \leq S \leq 110$	$S < 90$

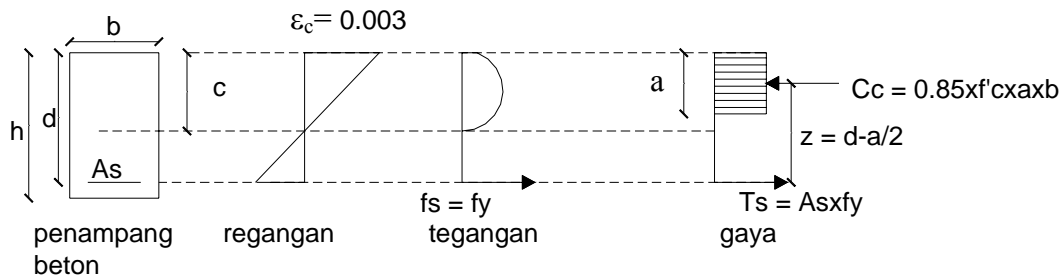
15	$S > 220$	$180 \leq S \leq 220$	$S < 180$
≥ 20	$S > 330$	$270 \leq S \leq 330$	$S < 270$

Sumber: *Rekayasa Gempa, Himawan Indarto, hal 15, 2004*

- *Massa Beban Pada Struktur*

Dalam perhitungan ini, program SAP 2000 telah dapat langsung mendefinisikan besarnya massa beban sendiri tiap elemen struktur.

b. Perencanaan Lentur Murni



Gambar 2.9 Tegangan, regangan dan gaya yang terjadi pada perencanaan lentur murni beton bertulang

Dari gambar didapat:

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (\text{Buku CUR 1, Vis dan Gideon, 1997})$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (\text{Buku CUR 1, Vis dan Gideon, 1997})$$

Sehingga:

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

dimana

$$a = \beta \cdot c \quad (\text{Buku CUR 1, Vis dan Gideon, 1997})$$

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

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:

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

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

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

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

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

Besarnya momen yang mampu dipikul oleh penampang adalah:

$$\begin{aligned} Mu &= Cc (d - 0,5a) \text{ atau } Ts (d - 0,5a) \\ &= As \cdot fy (d - 0,5 \cdot 0,85c) \\ &= As \cdot fy (d - 0,425c) \end{aligned}$$

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

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

Substitusi harga c,

$$Mu = 0,8 \cdot \rho \cdot b \cdot d \cdot fy (d - 0,425 \cdot 1,384 \rho \cdot \frac{fy}{fc'} \cdot d)$$

Bentuk di atas dapat pula dituliskan sebagai berikut:

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

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.

c. Persentase Tulangan Minimum, Balance dan Maksimum

- Rasio tulangan minimum (ρ_{\min})

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

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

- Rasio tulangan balance (ρ_b)

Dari gambar regangan penampang balok (Gambar 2.2) didapat:

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

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

$0,75\rho_b$.

d. 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

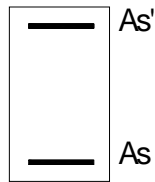
Dalam menghitung tulangan rangkap, total momen lentur yang dilawan akan dipisahkan dalam dua bagian: $Mu_1 + Mu_2$

Dengan:

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

$$As_1 = \rho_{max} \cdot b \cdot d$$

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 $(d - d')$.

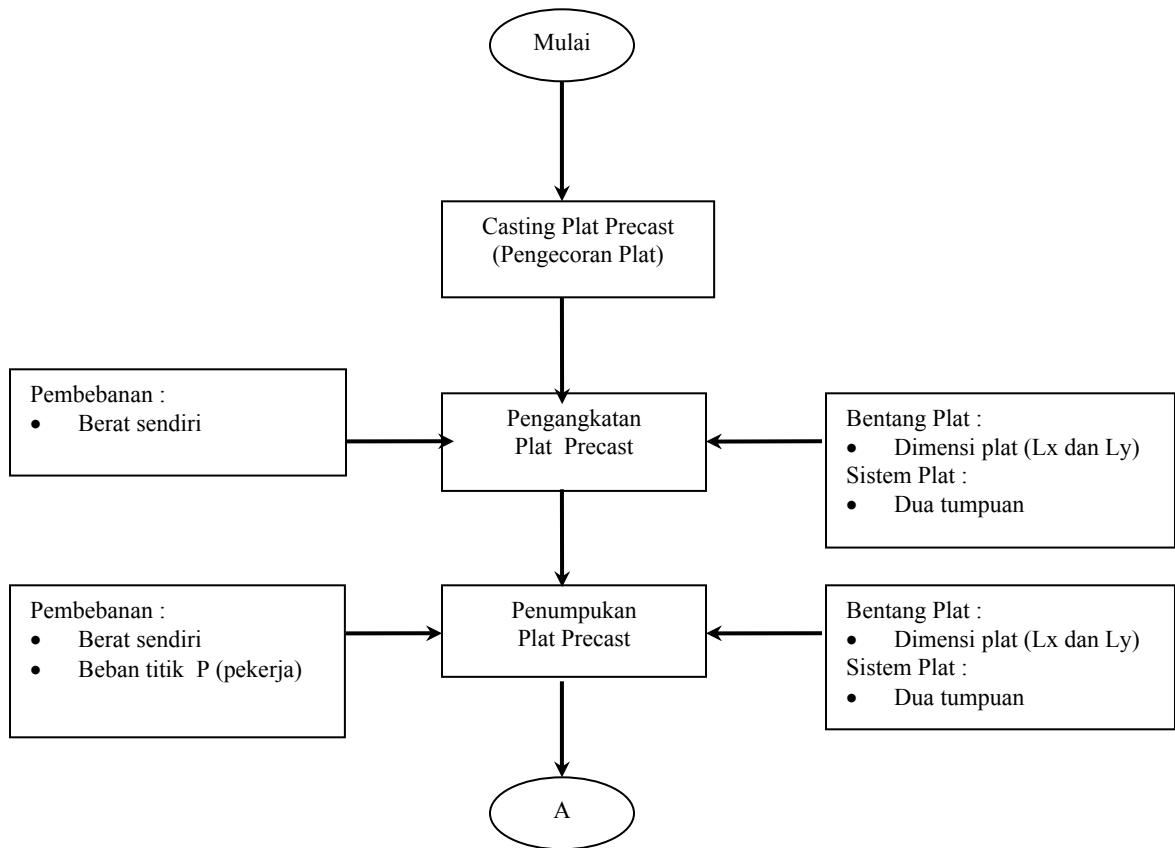


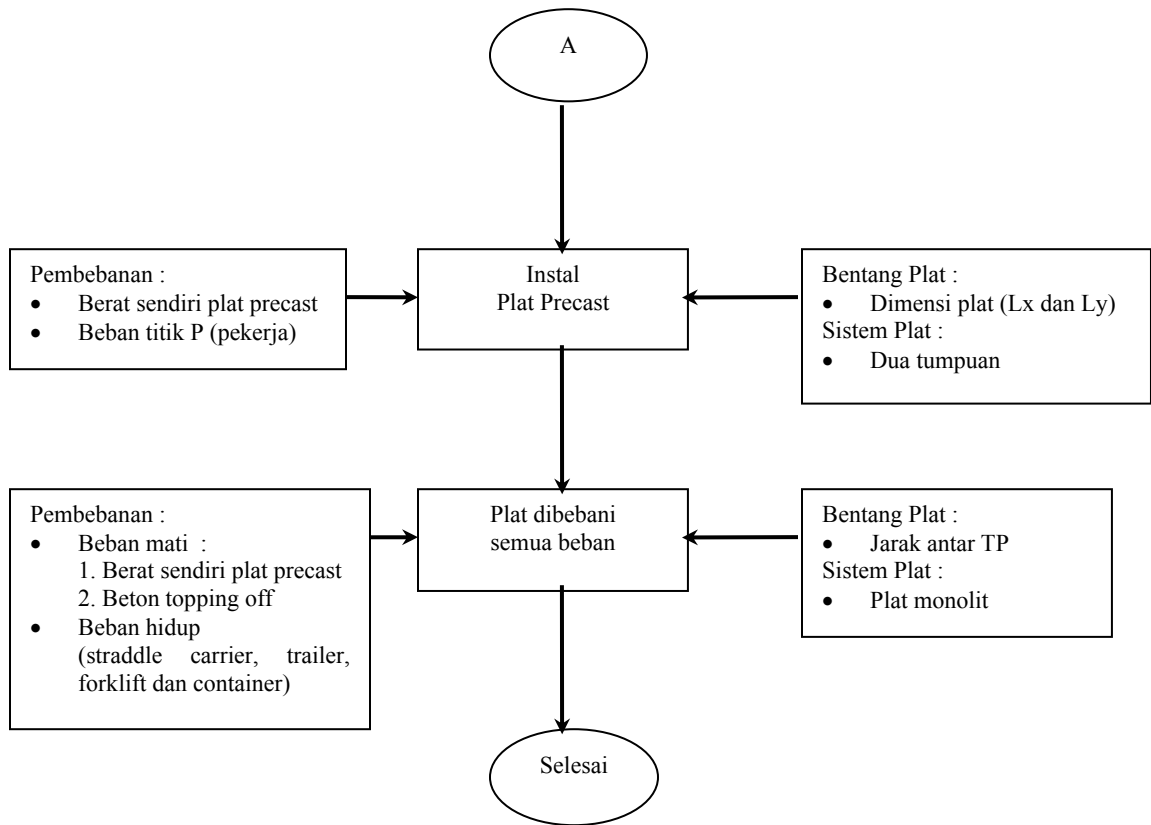
Jumlah tulangan tarik tambahan As_2 sama dengan jumlah tulangan tekan As' , yaitu:

$$As_2 = As' = \frac{Mu - Mu_1}{\phi \cdot fy \cdot (d - d')}$$

C. Perencanaan Plat Precast.

Perencanaan elemen plat precast berdasarkan berbagai tahapan yang dilalui oleh elemen plat precast tersebut yang pada dasarnya adalah sama dengan perencanaan elemen balok precast.



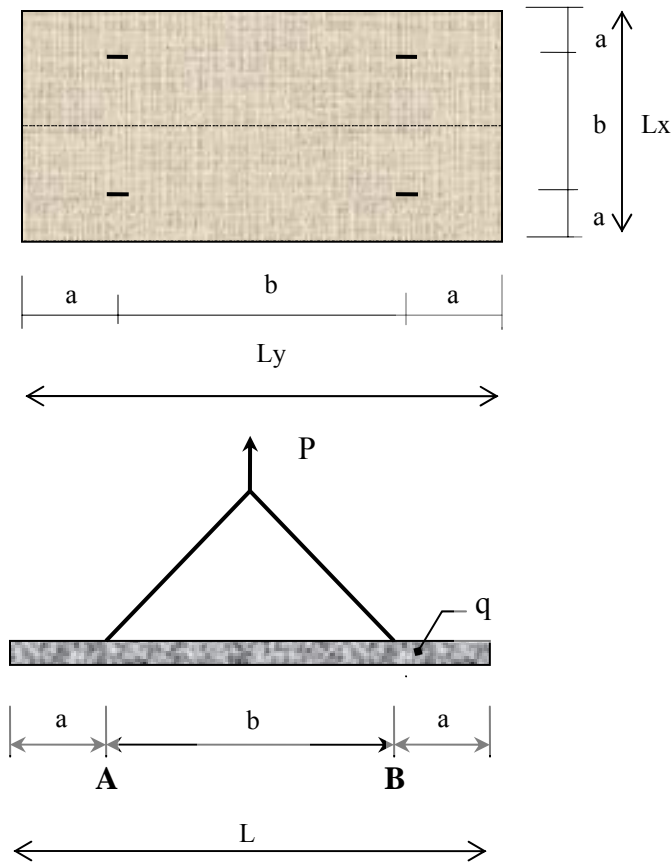


Gambar 2.10 Diagram Perencanaan Plat Precast

Kondisi – kondisi yang diperhitungkan untuk elemen plat precast sama dengan kondisi – kondisi yang diperhitungkan untuk elemen balok precast, yaitu :

1. Kondisi Pengangkatan Plat Precast.

Pada tahap pengangkatan, elemen plat precast diangkat menuju tempat penumpukan. Pada saat pengangkatan diperhitungkan besarnya pembebanan yang bekerja pada elemen yaitu sebesar berat sendiri dari plat tersebut.

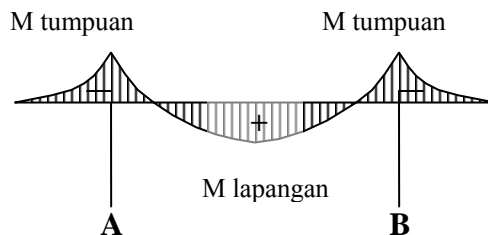


Dimana :

L = panjang plat precast (m)

q = beban merata (t/m)

Bidang momen yang terjadi



Momen maksimum :

- Lapangan :

$$M = q/8.(b^2 - 4a^2)$$

- Tumpuan :

$$M = 1/2.q.a^2$$

(Structural Analysis, Aslam Kassimali, hal 160, 1999)

Cara menghitung kekuatan gantungan pada pelat precast sama dengan balok precast, yaitu :

$$\text{Beban} = q \cdot L$$

$$P = \text{beban tiap - tiap gantungan} = \frac{1}{4} q \cdot L$$

$$\sigma_y = \frac{P}{A_s}$$

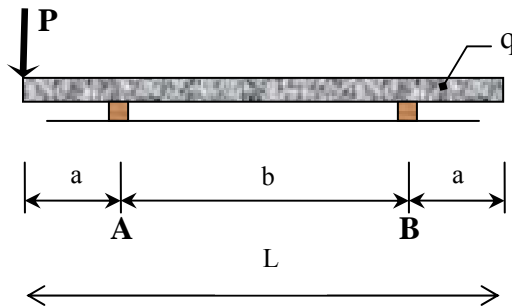
$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot q \cdot L}{A_s} \longrightarrow A_s = \text{luas tulangan (mm)}$$

Cek kekuatan gantungan :

$$\sigma_y \text{ terjadi} \leq \sigma_y \text{ (ijin)...oke!}$$

2. Kondisi Penumpukan Plat Precast.

Pada tahap penumpukan, plat precast dianggap sebagai balok. Pada area penumpukan, plat disusun sedemikian rupa diatas 2 buah tumpuan untuk menunggu tahapan berikutnya yaitu tahap penginstallan. Pada tahap penumpukan selain berat sendiri juga diperhitungkan beban titik P (beban pekerja) pada perhitungan pembebanannya. Kemudian elemen plat tersebut diangkat menuju lokasi dermaga untuk melalui tahap penginstallan.

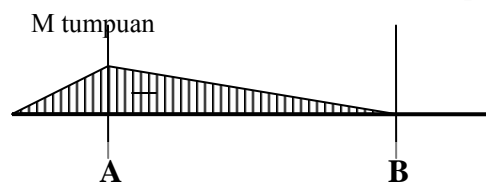


Dimana :

L = panjang plat precast

P = beban pekerja

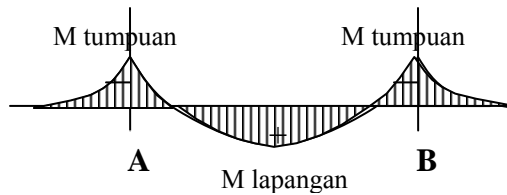
Bidang momen akibat beban P di tepi



Momen maksimum :

- Lapangan : tidak perlu ditinjau (karenan nilainya negatif)
- Tumpuan : $M = a \cdot P$

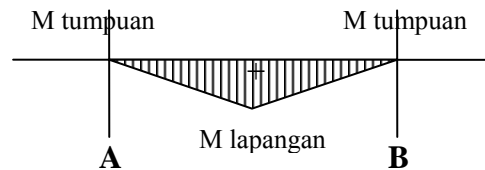
Bidang momen akibat beban sendiri



Momen maksimum :

- Lapangan : $M = q/8.(b^2 - 4a^2)$
- Tumpuan : $M = 1/2.q.a^2$

Bidang momen akibat beban P di tengah bentang



Momen maksimum :

- Lapangan : $M = 1/4 . b . P$
- Tumpuan : $M = 0$

Superposisi momen maksimum yg terjadi akibat kombinasi pembebanan di atas :

- Lapangan : $M = q/8.(b^2 - 4a^2) + 1/4 . b . P$
- Tumpuan : $M = a.P + 1/2.q.a^2$

(Structural Analysis, Aslam Kassimali, hal 160, 1999)

3. Kondisi Pembebanan Plat Precast

Pembebanan pada plat precast terjadi dalam 2 tahap, yaitu :

a. Pembebanan plat precast saat penginstallan

Beban yang dialami terdiri dari beban plat precast, plat topping off dan berat pekerja.

Langkah-langkah perencanaan penulangan plat adalah sebagai berikut :

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

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

2. Menentukan tebal plat.

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

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

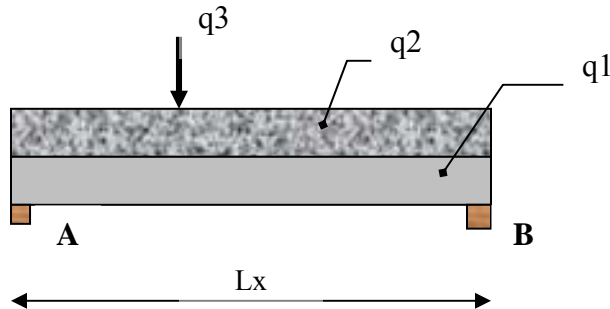
$$h_{\max} = \frac{l \max(0.8 + \frac{f_y}{1500})}{36}$$

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

q1 = berat sendiri plat precast \rightarrow kg/m²

q2 = berat beton topping off \rightarrow kg/m²

q3 = berat pekerja \rightarrow kg/m²



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 :

a. Momen lapangan arah x (M_{lx}) = koefisien x W_u x L_x^2

b. Momen lapangan arah y (M_{ly}) = koefisien x W_u x L_x^2

c. Momen tumpuan arah y (M_{ty}) = koefisien x W_u x L_x^2

d. 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 Mu dengan $b \times d^2 \left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right)$

dimana b = lebar pelat per meter panjang

d = tinggi efektif

- Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

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

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

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

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

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

- Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

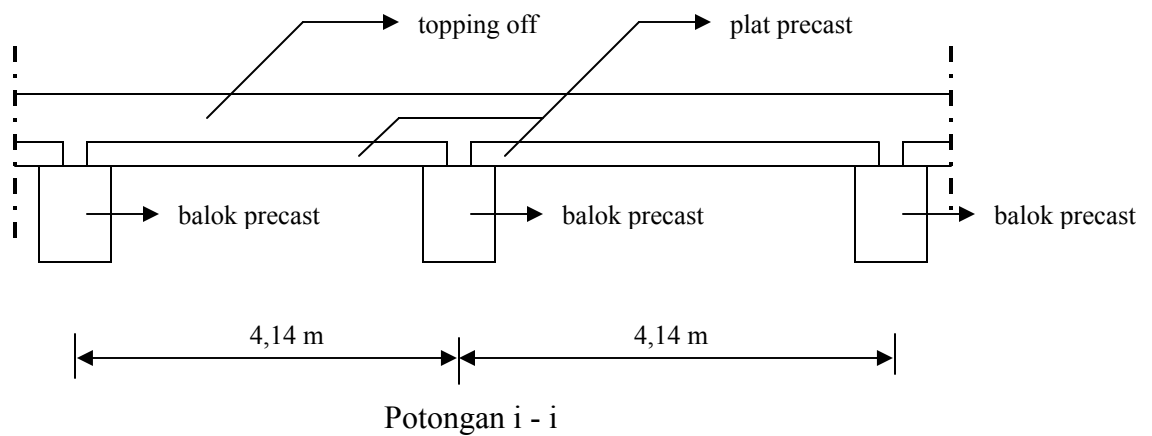
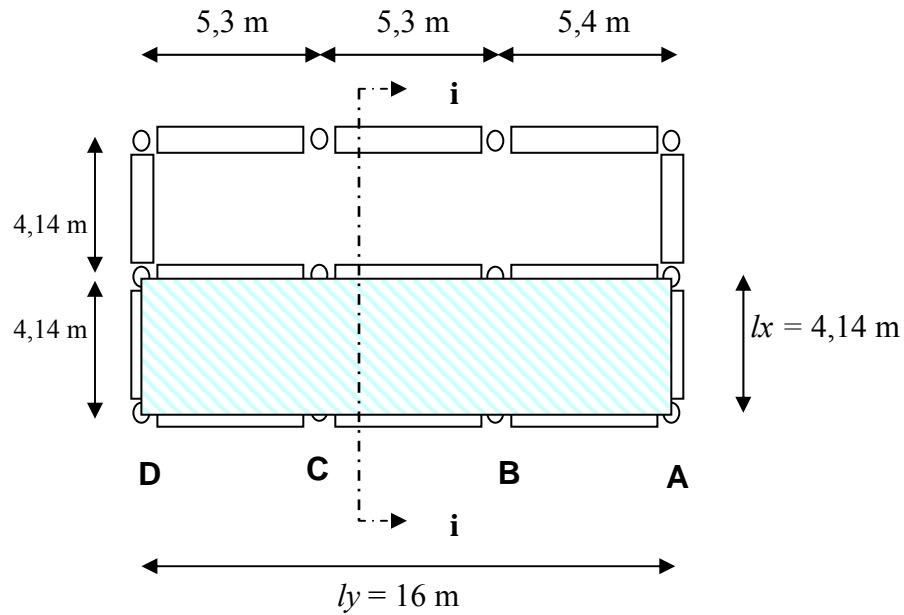
$$(As = \rho \times b \times d \times 10^6)$$

(Buku CUR 1, Vis dan Gideon, hal 54, 1997)

b. Pembebanan plat saat semua beban bekerja

Beban yang bekerja terdiri dari beban mati yaitu berat sendiri plat (plat precast dan topping off) dan beban hidup (container dan trailer).

Kondisi plat precast dalam keadaan monolit setelah dilakukan topping off.



Gambar 2.11 Plat setelah topping off

Langkah-langkah perencanaan penulangan plat adalah sebagai berikut :

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

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{16}{4,14} = 3,86 \geq 3 \rightarrow \text{termasuk pelat satu arah (one way slab)}$$

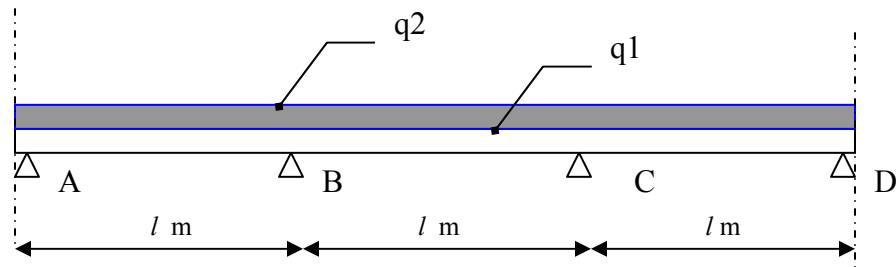
2. Menentukan tebal plat.

Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 hal 16, maka dapat ditentukan tebal plat minimum.

3. Menghitung beban yang bekerja pada pelat, berupa beban mati dan beban hidup.

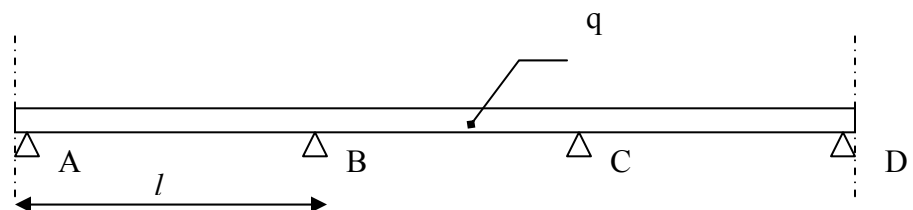
Berat mati = q (plat precast + topping off) \rightarrow ton/m

Beban hidup = P (container) 2 tumpukan \rightarrow ton/m



4. Menghitung momen-momen yang menentukan

Untuk menentukan momen yang terjadi pada plat monolit plat dianggap sebagai balok. Momen dihitung menggunakan metode cross karena struktur termasuk struktur statis tak tentu.



Cara menghitung momen dengan metode cross (distribusi momen):

a. Menentukan nilai-nilai bagi untuk masing-masing batang :

- Menentukan kekakuan batang tiap-tiap batang

$$k_n = \frac{i_n}{l_n} \quad \begin{array}{l} k_n = \text{kekakuan batang} \\ i_n = \text{momen lembam (diasumsikan 1 karena} \\ \text{jenis bahan sama)} \\ l_n = \text{panjang batang} \end{array}$$

- Menentukan koefisien distribusi pada titik simpul

$$\mu = \frac{k_n}{\sum k} \quad \mu = \text{koefisien distribusi}$$

- Menentukan koefisien reduksi tiap-tiap batang (γ)

Tumpuan rol atau sendi tidak bisa menyalurkan momen jadi koefisien reduksi menjadi 0

f. Menentukan momen jepit yang diambil sesuai rumus-rumus momen jepit yang sesuai.

g. Mendistribusikan momen yang telah didapat

h. Menjumlahkan seluruh momen sehingga didapat momen tumpuan.

5. Mencari tulangan plat

Cara mencari tulangan plat pada saat beban bekerja secara keseluruhan digunakan cara dan rumus yang sama dengan mencari tulangan plat saat penginstallan.

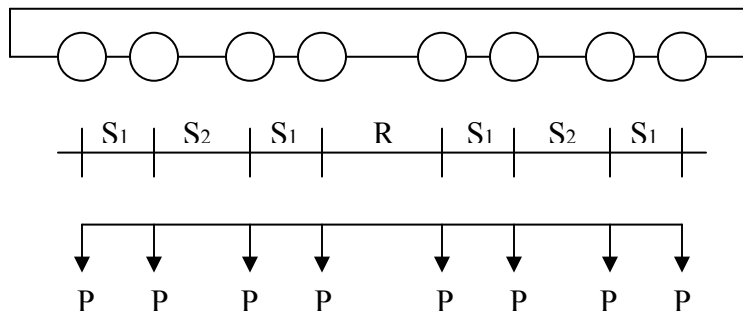
2.3.4 Perencanaan Balok Crane

Pada perencanaan dermaga ini, digunakan sistem operasi *Lift on / Lift off (Lo / Lo)* untuk melaksanakan proses menaikkan dan menurunkan peti kemas dari kapal ke dermaga, maupun sebaliknya. Dipasang 2 buah gantry crane untuk pelaksanaan sistem operasi tersebut.

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

Pembebanan yang bekerja pada balok crane adalah :

1. Beban merata.
 - Berat sendiri
 - Berat rel
2. Beban berjalan (rangkaian roda crane) \longrightarrow PORTS '95



Gambar 2.12 Beban roda crane

- S₁ = 0,7 m
- S₂ = 0,75 m
- R = 1 m
- P = 24 ton

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 versi 8.

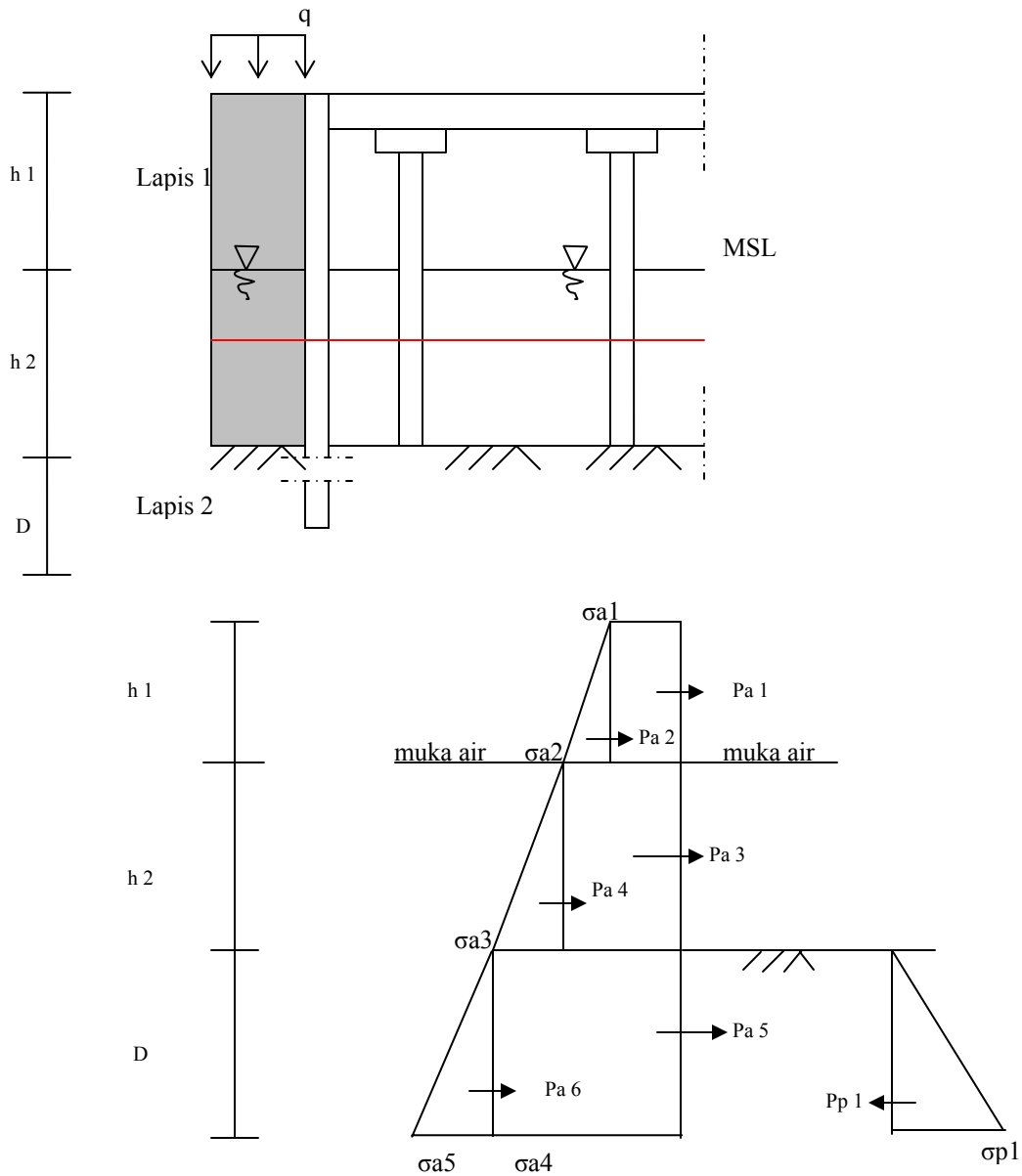
Dari hasil perhitungan dengan analisa struktur SAP diperoleh bahwa *momen maksimum batang balok yang terjadi adalah pada batang balok yang di atasnya terdapat beban berjalan.*

Untuk itu perhitungan momen tumpuan, momen lapangan dan gaya lintang yang digunakan adalah pada balok yang dikenai beban berjalan.

Perhitungan beban berjalan dilakukan dari $x = 0, 1, 2$ dan 3 dari masing – masing balok ke $1, 2$ dan 3 dari ujung rangkaian balok. Untuk balok $4, 5, 6$ dan seterusnya tidak dilakukan perhitungan beban karena momen maksimum yang dihasilkan sudah lebih kecil dari momen maksimum balok $1, 2$ dan 3 .

2.3.5 Perencanaan Sheet Pile

Sheet pile yang direncanakan sheet pile kantilever (tanpa penjangkaran) yang terbuat dari material baja. Kestabilan dari sheet pile hanya merupakan hasil mobilisasi tekanan tanah lateral pasif sebagai antisipasi dari tekanan-tekanan yang bekerja pada sheet pile tersebut antara lain tekanan aktif dan tekanan residu air. Perencanaan sheet pile dilakukan berdasarkan metode penyederhanaan atau *simplified method*. (Konstruksi Penahan Tanah, Gunadarma, hal 94, 1997)



Gambar 2.13 Diagram Tekanan Tanah

Cara menghitung gaya akibat tekanan tanah :

(Konstruksi Penahan Tanah, Gunadarma, hal 94, 1997)

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

akibat beban merata :

$$\sigma = q \cdot K_a$$

$$P = \sigma \cdot h$$

akibat tekanan tanah

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

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

dimana :

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

K_p = koefisien tekanan tanah pasif

σ = tegangan tanah (t/m²)

h = tebal lapisan (m)

P = tekanan tanah (t/m)

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

$$\Sigma M = 0$$

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

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

dimana :

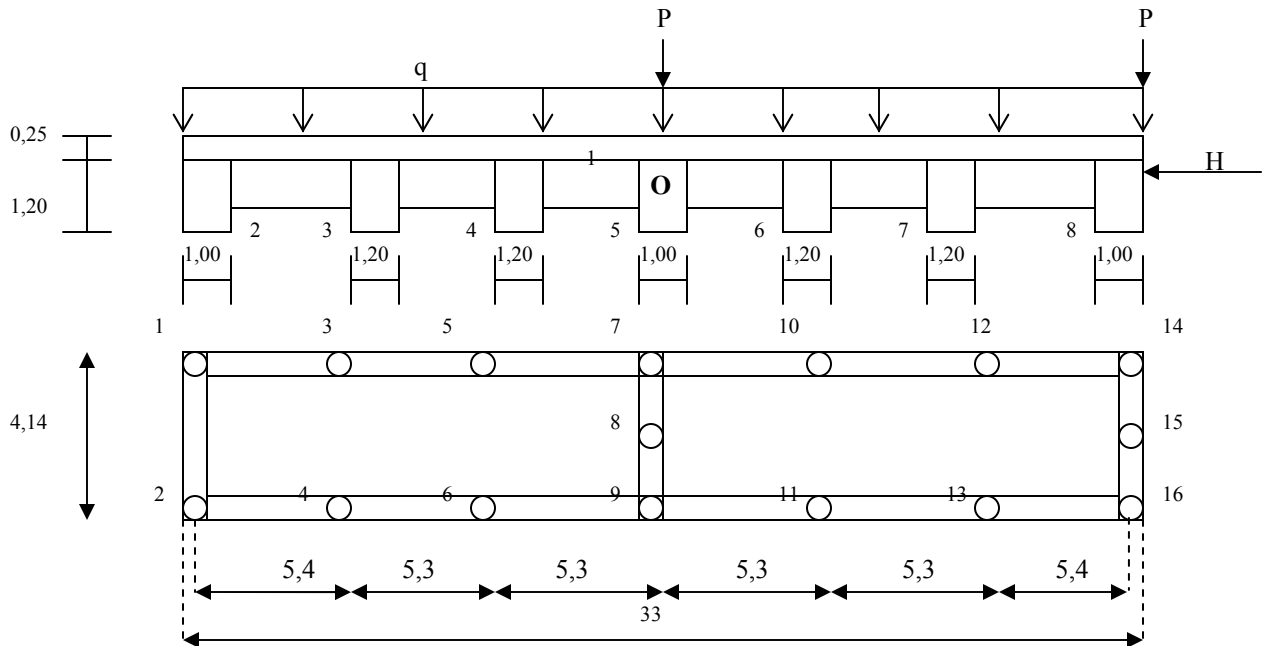
σ = tegangan lentur baja (1800 kg/cm²)

M = momen lentur (kg cm)

W = modulus tampang (cm³)

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

2.3.6 Perencanaan Tiang Pancang



Gambar 2.14 Denah tiang pancang

Di dalam merencanakan tiang pancang pendukung dermaga, dihitung gaya - gaya vertikal dan horisontal yang bekerja pada segmen dermaga. Daya dukung tiang pancang pada dermaga terhadap gaya horisontal yang diijinkan adakah 0,7 ton (Pelabuhan, Bambang Triatmodjo 1996, hal184).

Menghitung daya dukung tiang :

(Pile Design and Construction Practice, M.J. Tomlinson hal 119, 1977)

$$Q_p = Q_b + Q_s$$

dimana :

Q_b = kapasitas daya dukung tanah di bawah ujung pondasi

Q_s = kapasitas daya dukung dari gaya gesekan tiang pancang dengan tanah.

Q_p = kapasitas daya dukung tiang pancang maksimum

Menghitung daya dukung tiang untuk tanah berpasir :

Kapasitas daya dukung tanah di bawah ujung pondasi:

(Pile Design and Construction Practice, M.J. Tomlinson, hal 135, 1977)

$$Q_b = P_d \cdot N_q \cdot A_b$$

dimana :

Q_b = kapasitas daya dukung tanah di bawah ujung pondasi

A_b = luas penampang tiang (m^2)

P_d = tekanan overburden efektif dasar pondasi = $\gamma \times z$

z = kedalaman tiang (m)

γ = berat jenis tanah (ton/m^3)

N_q = faktor kapasitas daya dukung Terzaghi

Kapasitas daya dukung dari gaya gesekan tiang pancang dengan tanah:

(Pile Design and Construction Practice, M.J. Tomlinson, hal 136, 1977)

$$Q_s = \frac{1}{2} K_s \cdot P_d \cdot \tan \delta \cdot A_s$$

dimana :

Q_s = kapasitas daya dukung dari gaya gesekan tiang pancang dengan tanah.

K_s = koefisien tekanan tanah.

ϕ = sudut geser dalam

δ = sudut geser efektif antara tanah dan material tiang

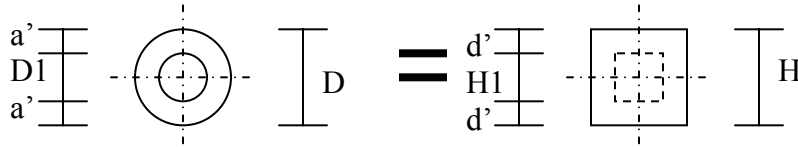
= $3/4 \phi$ (untuk tiang dari beton)

A_s = luas selimut tiang pancang yang menerima gesekan

Perhitungan Tulangan Tiang Pancang

Menghitung Penampang Balok Segiempat Ekuivalen

(Menghitung Beton Bertulang, Udiyanto, hal 131, 2000)



$$H = 0,88 D$$

$$d' = 0,88 a'$$

$$D = D1 + 2a'$$

$$H = H1 + 2d'$$

$$d = H - d'$$

dimana :

D = diameter tiang pancang (mm)

D1 = diameter letak tulangan (mm)

a' = tebal selimut efektif penampang lingkaran (mm)

H = panjang sisi penampang segi empat ekuivalen (mm)

H1 = panjang sisi tulangan penampang segi empat (mm)

d' = tebal selimut efektif penampang segi empat ekuivalen (mm)

Menghitung Kapasitas Penampang Persegi Tekanan Eksentris (tulangan simetris)

(Menghitung Beton Bertulang, Udiyanto, hal 109, 2000)

$$P_b = RL.b.ab + f_y.(A_s' - A_s)$$

$$M_b = RL.b.ab.(d - \frac{ab}{2}) + f_y.A_s'.(d - d')$$

$$e_b = \frac{M_b}{P_b}$$

$e > e_b$ maka yang menentukan adalah keruntuhan tarik

Persamaan gaya tahan nominal untuk kolom bundar dengan keruntuhan tarik menurut buku Beton Bertulang Edward G. Nawy halaman 335 :

$$P_n = 0,85 f'_c D^2 \left\{ \sqrt{\left(\frac{0,85e}{D} - 0,38\right)^2 + \frac{\rho \cdot m \cdot D1}{2,5D}} - \left(\frac{0,85e}{D} - 0,38\right) \right\}$$

$$P_u = \Phi \cdot P_n$$

dimana :

P_b = gaya tekan aksial balance (kg)

P_n = gaya tahan nominal kolom bundar (kg)

M_b = momen balance (kgcm)

RL = tegangan tekan pada penampang beton = $0,85 \cdot f'_c$ (kg/cm²)

b = lebar penampang (cm)

a = tinggi – blok – tegangan – tekan ekivalen penampang beton (cm)

a_b = tinggi – blok – tegangan – tekan ekivalen penampang beton balance (cm)

$$= 0,85 \cdot \frac{6000 \cdot d}{6000 + f_y}$$

f_y = tegangan leleh baja (kg/ cm²)

A_s' = luas penampang tulangan tekan (cm²)

A_s = luas penampang tulangan tarik (cm²)

d = tinggi efektif penampang (cm)

d' = tebal selimut efektif (cm)

e = eksentrisitas (cm)

e_b = eksentrisitas penampang balance (cm)

ρ = perbandingan luas penampang tulangan terhadap luas penampang beton

m = f_y / RL

$D1$ = diameter lingkaran tulangan dari as ke as (cm)

Menghitung Tulangan Geser

(Menghitung Beton Bertulang, Udiyanto, hal 109, 2000)

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u = \Phi \cdot V_n$$

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$V_s = A_v \cdot f_y \cdot \frac{d}{s}$$

dimana :

V_n = gaya geser terfaktor pada penampang (N)

V_c = gaya geser nominal yang diberikan beton (N)

V_s = gaya geser nominal yang diberikan oleh tulangan geser (N)

V_u = gaya geser maksimum pada penampang (N)

Φ = faktor reduksi kekuatan = 0,6

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

b = lebar penampang (mm)

d = tinggi efektif penampang (mm)

A_v = luas penampang tulangan geser (mm²)

f_y = tegangan leleh baja (MPa)

2.3.7 Fender

Fender dibangun untuk meredam pengaruh benturan kapal dengan dermaga sehingga kerusakan kapal maupun dermaga dapat dihindarkan. Fender harus dipasang sedemikian rupa sehingga dapat mengenai kapal. Oleh karena kapal mempunyai ukuran yang berlainan, maka fender harus dipasang agak tinggi pada sisi dermaga.

Energi yang diserap oleh sistem fender dan dermaga biasanya ditetapkan setengah dari gaya benturan kapal ($1/2 E$), setengah gaya yang lain diserap oleh kapal dan air.

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 205, 1997)

$$F = \frac{W}{2gd} V^2$$

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

W = bobot kapal bermuatan penuh (ton)

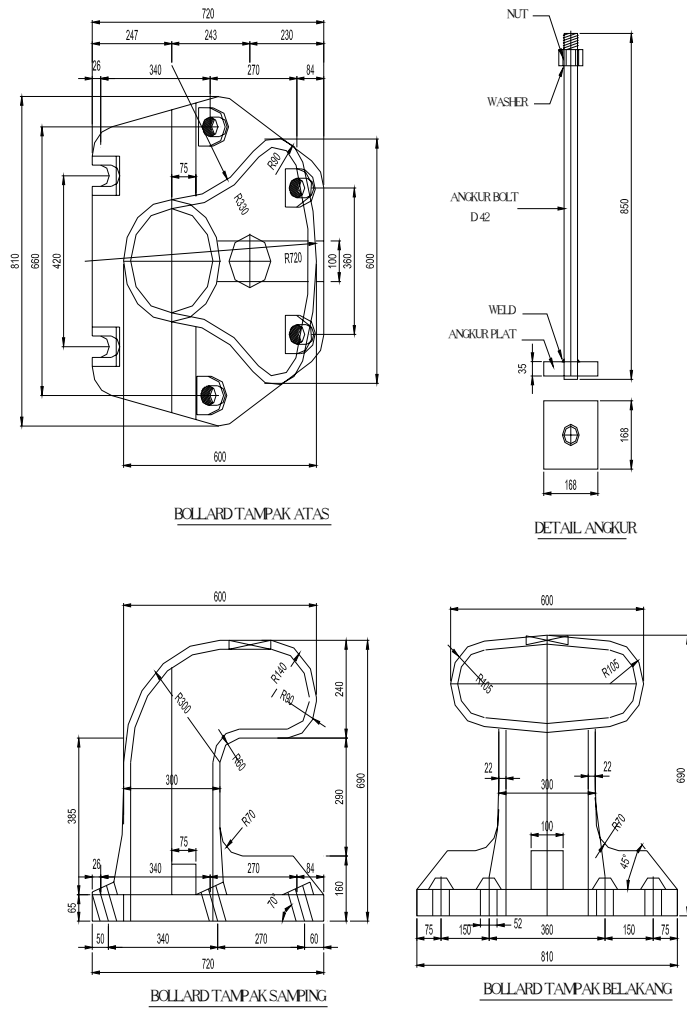
d = defleksi fender (khusus kayu dibagi 20) (mm)

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

G = percepatan gravitasi = 9,81 m/det²

2.3.8 Bolder

Fungsi bolder adalah untuk menambatkan kapal agar tidak mengalami pergerakan yang dapat mengganggu baik pada aktifitas bongkar muat maupun lalu lintas kapal lainnya. Bolder yang digunakan pada dermaga ini menggunakan bahan dari baja.



Gambar 2.15 Detail bolder

2.3.9 Lapangan Penumpukan (*Storage Yard*)

Setelah tiba di pelabuhan, peti kemas yang tiba ada yang diletakkan sementara waktu di *appron area* atau *stacking area* sementara dan ada pula yang langsung diangkut ke lapangan penumpukan. Keseluruhan dari lapangan penumpukan dibagi menjadi beberapa bagian yaitu bagian khusus peti kemas untuk ekspor / impor, bagian untuk peti kemas yang ditolak / dikembalikan, bagian untuk peti kemas yang dianggap berbahaya (*hazardous*) dan bagian untuk peti kemas kosong.

Di lapangan penumpukan juga terdapat *Container Freight Station (CFS)* yaitu kantor yang khusus melayani “*stripping*” dan “*stuffing*”. *Stripping* adalah proses untuk barang – barang yang diimpor di dalam satu peti kemas tetapi memiliki daerah tujuan yang berbeda. Sedangkan *stuffing* adalah ketika terdapat berbagai barang dari berbagai daerah yang diangkut di dalam satu peti kemas untuk kemudian diekspor.

Luas lapangan penumpukan yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus :

(Port and Terminals, H. Ligteringen, hal 7-18, 2000)

$$O = \frac{C_i \cdot \bar{t}_d \cdot F}{r \cdot 365 \cdot m_i}$$

dimana :

O = luas area yang dibutuhkan (m²)

C_i = jumlah pergerakan peti kemas per tahun (TEU/thn)

TEU adalah singkatan dari Twenty Foot Equivalent Unit yaitu luas yang dibutuhkan untuk peti kemas standar ukuran 20 feet.

\bar{t}_d = waktu tinggal rata- rata (hari)

= (T+2)/3 → T untuk negara berkembang = 20 – 30 hari

F = luas area yang dibutuhkan untuk pergerakan peralatan (m²)

Tabel 2.3 Luas Area untuk Pergerakan Peralatan

Sistem	Jumlah tinggi peti kemas	F (m ²)
Chassis / traller	1	50-65
Straddle carrier	2	15-20
	3	10-13

Gantry crane	2	15-20
	3	10-13
	4	7,5-10
	5	6-8
	Forklift truck / Reach	2
Stacker	3	25-30

Sumber : Ports and Terminals, Delft University of Technology 2000

r = rata – rata tinggi tumpukan / nominal tinggi tumpukan (0,6-0,9)

m_i = angka rata –rata peti kemas yang menginap (0,65-0,70)

Luas untuk Container Freight Station dapat dihitung dengan rumus :

(Port and Terminals, H. Ligteringen, hal 7-20, 2000)

$$O_{CFS} = \frac{C_i \cdot V \cdot \bar{t}_d \cdot f_1 \cdot f_2}{h_a \cdot m_i \cdot 365}$$

dimana :

O_{CFS} = luas container freight station (m²)

C = jumlah peti kemas yang masuk ke CFS (TEU/thn)

V = volume 1 TEU peti kemas = 29 m³

\bar{t}_d = waktu tinggal rata- rata (hari)

= (T+2)/3 → T untuk negara berkembang = 20 – 30 hari

f_1 = gross area / nett area = 1,4

f_2 = faktor bulking = 1,1 - 1,2

h_a = tinggi peti kemas rata – rata di dalam CFS (m)

m_i = angka rata – rata peti kemas yang menginap (0,65 – 0,7)

Prinsip dasar perencanaan lapangan penumpukan (*storage yard*) adalah menggunakan prinsip perkerasan kaku untuk jalan raya. Terdapat beberapa besaran rencana yang dibutuhkan untuk menghitung perencanaan lapangan penumpukan, yaitu :

1. Umur Rencana

Umur perkerasan kaku direncanakan dengan umur rencana (n) 20 sampai 40 tahun.

2. Karakteristik kendaraan

- a. Jenis kendaraan, untuk keperluan perencanaan perkerasan kaku hanya ditinjau kendaraan niaga yang mempunyai berat total minimum 5 ton.
- b. Konfigurasi sumbu
 - sumbu tunggal dengan roda tunggal (STRT)
 - sumbu tunggal dengan roda ganda (STRG)
 - sumbu ganda dengan roda ganda (SGRG)

3. Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana (JSKN) dan repetisi beban (Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement), Ari Suryawan, hal II – 30, 2005)

$$JSKN = 365 \times JSKNH \times R$$

$$Repetisi\ Beban = \% \text{ konfigurasi sumbu} \times Cd \times JSKN$$

dimana :

JSKN = jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana.

JSKNH = jumlah sumbu kendaraan niaga harian pada saat jalan

dibuka.

R = faktor pertumbuhan lalu lintas

$$= \frac{(1 + i)^n - 1}{i \log(1 + i)}$$

i = angka pertumbuhan (%)

n = tahun rencana

Cd = koefisien distribusi lajur rencana → tabel koefisien distribusi lajur rencana

4. Kekuatan tanah dasar

Kekuatan tanah dasar dinyatakan dalam nilai Modulus Reaksi Tanah Dasar (k). Nilai k ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara nilai k dengan CBR tanah dasar (terlampir).

5. Menghitung kuat lentur tarik beton “Modulus of Repture”

(Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement), Ari Suryawan, hal II – 30, 2005)

$$MR = 0,62 \cdot \sqrt{\sigma_{BK}}$$

dimana :

MR = modulus of repture (MPa)

σ_{BK} = kuat tekan beton (MPa)

6. Menghitung ketebalan pelat

Langkah – langkah dalam prosedur perencanaan adalah sebagai berikut :

- a. Pilih suatu tebal pelat tertentu.
- b. Untuk setiap kombinasi konfigurasi dan beban, sumbu serta suatu harga k tertentu, maka:
 - tegangan lentur yang terjadi pada pelat beton ditentukan dengan menggunakan **nomogram korelasi** antara beban sumbu dengan harga k. (ada 3 nomogram, masing – masing untuk STRT, STRG dan SGRG)
 - perbandingan tegangan dihitung dengan membagi tegangan lentur yang terjadi dengan kuat lentur tarik (MR) beton.
 - jumlah pengulangan beban yang diijinkan ditentukan berdasarkan harga perbandingan tegangan dalam Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement), Ari Suryawan , hal II – 31, 2005.
 - persentase fatigue untuk tiap – tiap kombinasi / beban sumbu ditentukan dengan membagi jumlah pengulangan beban rencana dengan jumlah pengulangan beban yang diijinkan.

- c. Cari total fatigue dengan menjumlahkan persentase fatigue dari seluruh konfigurasi beban sumbu.
- d. Langkah – langkah a sampai c diulangi hingga didapatkan tebal pelat dengan total fatigue yang lebih kecil atau sama dengan 100 %.
- e. Tebal minimum perkerasan yang diijinkan adalah 150 mm.

7. Menghitung penulangan pada perkerasan beton bertulang menerus

(Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement), Ari Suryawan, hal II – 31, 2005)

Tulangan memanjang :

$$P_s = \frac{100 f_t}{(f_y - n \cdot f_t)} (1,3 - 0,2F)$$

dimana :

- P_s = persentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap penampang beton (%)
- f_t = kuat tarik beton (0,4-0,5 MR) (kg/cm²)
- f_y = tegangan leleh rencana baja (kg/cm²)
- n = angka ekivalensi antara baja dan beton
(tabel hubungan angka ekivalensi baja dengan beton)
- F = koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya
(tabel koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapis pondasi bawah)

A_s = P_s x luas penampang beton

$A_{s \text{ min}}$ = 0,6 % dari luas penampang beton

Pengecekan jarak teoritis antara retakan :

$$L_{cr} = \frac{f_t^2}{n \cdot p^2 \cdot u \cdot f_b \cdot (S.Ec - f_t)}$$

dimana :

L_{cr} = jarak teoritis antara retakan (cm) (1m < L_{cr} < 2m)

- p = luas tulangan memanjang per satuan luas beton (cm)
u = perbandingan keliling dan luas tulangan = 4/d
fb = tegangan lekat antara tulangan dengan beton
= $2,16 \frac{\sqrt{\sigma_{BK}}}{d}$ (kg/cm²)
ft = kuat tarik beton (0,4-0,5 MR) (kg/cm²)
S = koefisien susut beton = $400 \cdot 10^{-6}$
n = angka ekivalensi antara baja dan beton
(tabel hubungan angka ekivalensi baja dengan beton)
Ec = modulus elastisitas
= $16600 \sqrt{\sigma_{BK}}$ (kg/cm²)

Tulangan melintang :

$$A_s = \frac{1200 \cdot F \cdot L \cdot h}{f_s}$$

- As = luas tulangan yang diperlukan (cm²/m)
As min = 0,14 % x luas penampang beton (cm²/m)
F = koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya
(tabel koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapis pondasi bawah)
L = panjang pelat (m)
h = tebal pelat (m)
fs = tegangan tarik baja yang diijinkan (kg/cm²)

8. Penyaluran Beban

Penyaluran beban pada perkerasan kaku menggunakan ruji untuk sambungan memanjang dan tie bar untuk sambungan melintang. Pendimensian ruji dan dowe sesuai dengan Tabel 7-19 Principles of Pavement Design, Yoder & Witezak, 1975.

9. Sambungan

Pada dasarnya terdapat 3 jenis sambungan yang digunakan dalam konstruksi perkerasan beton bertulang menerus, yaitu :

- a. Sambungan Susut.
 - dibuat dalam arah melintang pada jarak yang sama dengan panjang pelat yang telah ditentukan.
 - diperlukan untuk mengendalikan tegangan lenting dan retakan pada beton yang baru dihampar yang diakibatkan oleh perubahan suhu dan kelembaban pelat hingga batas tertentu.
 - setiap sambungan susut harus dipasang ruji sebagai penyalur beban.

- b. Sambungan Pelaksanaan.
 - ditempatkan pada perbatasan antara akhir pengecoran dan awal pengecoran berikutnya.
 - sambungan pelaksanaan dalam arah memanjang dipasang di antara lajur – lajur perkerasan yang berbatasan
 - pada setiap sambungan pelaksanaan memanjang dipasang tie bar sebagai penyalur beban.

- c. Sambungan Muai.
 - adalah sambungan melintang yang digunakan untuk membebaskan tegangan pada perkerasan beton.
 - pada umumnya sambungan susut telah menyediakan ruang yang cukup untuk pemuaian di bawah kondisi normal.