

BAB II

STUDI PUSTAKA

Dalam perencanaan pekerjaan konstruksi selalu dibutuhkan suatu kajian pustaka, sebab dengan kajian pustaka dapat ditentukan spesifikasi-spesifikasi yang menjadi acuan dalam perencanaan pekerjaan konstruksi tersebut.

Pintu air yang direncanakan adalah suatu rangkaian konstruksi pintu air pada sebuah saluran yang mempunyai perbedaan ketinggian muka air pada bagian hilir dan hulu akibat adanya sebuah bendung di saluran tersebut. Komponen utama dari konstruksi pintu air adalah :

- Pintu Gerbang
- Kamar Kapal
- Katup Air dengan sistem pengisian dan pengosongan

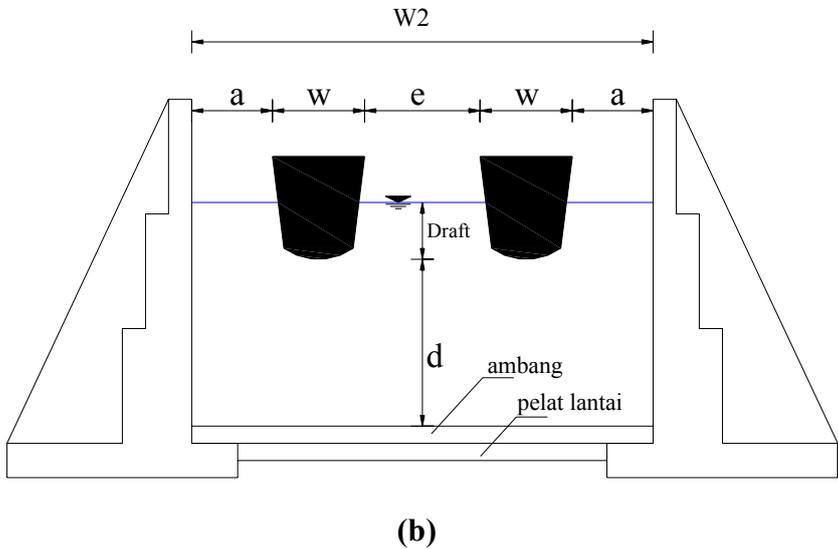
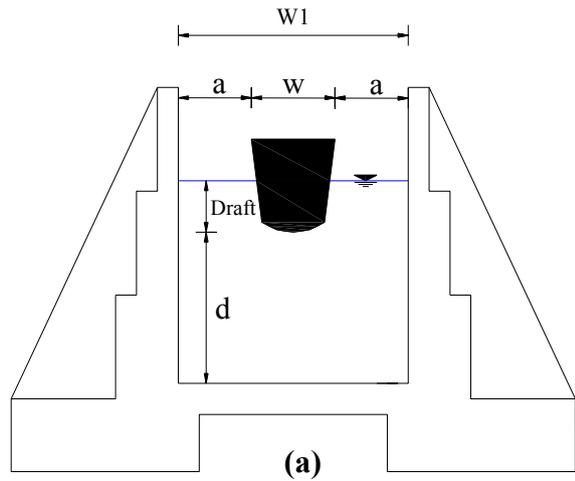
Bentuk pintu air yang direncanakan mempertimbangkan perkembangan lalu lintas kapal dalam jangka waktu tertentu termasuk pertimbangan kapasitas kapal yang akan dilayani, dan juga disesuaikan dengan data-data penunjang pada lokasi perencanaan sehingga perencanaan konstruksi ini dapat lebih akurat.

2.1 Perencanaan Dimensi Saluran Pintu Air

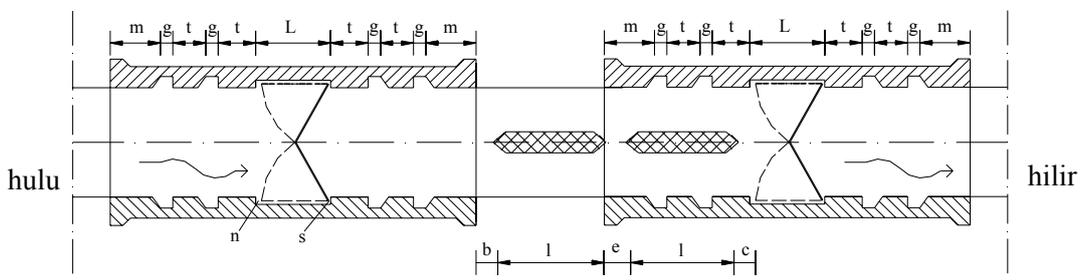
2.1.1 Kelonggaran Kapal

Kelonggaran kapal direncanakan untuk mencegah kapal bergesekan dengan dinding saluran dan dengan kapal yang lain jika konstruksi direncanakan menggunakan lebih dari 1 kapal untuk sekali operasional.

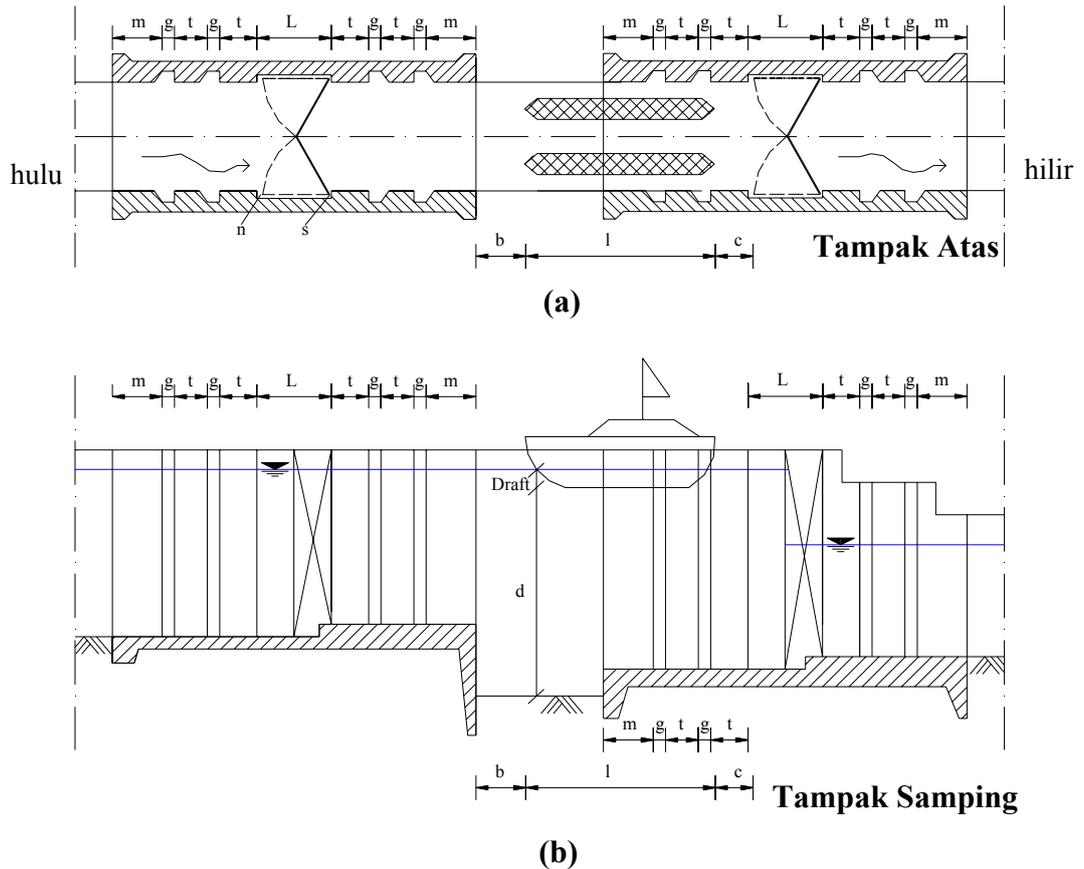
Berikut ini diberikan data-data kelonggaran kapal (kelonggaran memanjang dan kelonggaran melintang) untuk perencanaan saluran pintu air, baik itu menggunakan 1 kapal (di dalam kamar ataupun di bagian gerbang) maupun menggunakan lebih dari 1 kapal (misal 2 kapal).



Gambar 2.1 Kelonggaran Melintang Kapal
 (a) 1 Kapal; (b) 2 Kapal



Gambar 2.2 Kelonggaran Memanjang untuk Kapal Seri



Gambar 2.3 Kelonggaran Memanjang untuk Kapal Paralel

(a) Tampak Atas; (b) Tampak Samping

Keterangan :

- a = kelonggaran samping = (0,7-1,5) m, diambil a= 1 m
- w = lebar kapal (m)
- e = jarak antar kapal = 2,0 m
- d = kelonggaran bawah = (0,5-1,5) m, diambil d = 1,0 m
- m = jarak celah *schotbalk* ke tepi luar kamar = 2,5 m
- g = celah *schotbalk* (m)
- t = jarak antara celah *schotbalk* = (0,8-1,0) m, diambil t = 1 m
- W_1 = lebar gerbang (m)
- W_2 = lebar kamar (m)
- b, c = kelonggaran depan dan belakang = (1-5) m
diambil $b + c = 1,5 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 3,0 \text{ m}$
- l = panjang kapal (m)

- L = panjang pintu gerbang (m)
 n = kelonggaran depan pintu = minimum 25 cm, diambil n = 0,25 m
 s = kelonggaran belakang pintu = (0,02 – 0,05) m, diambil s = 3 cm

Untuk menentukan besarnya angka-angka kelonggaran kapal dalam kamar berdasarkan lokasi pelayaran adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Kelonggaran Kapal

Lokasi Pelayaran	Kelonggaran Melintang (a)	Kelonggaran (m)	
		Ke bawah (d)	Membujur (b+c)
Kanal	0,1 – 0,9 m	0,5 – 1,0 m	1 – 5 m
Sungai	0,7 – 1,5 m	0,5 – 1,5 m	1 – 5 m

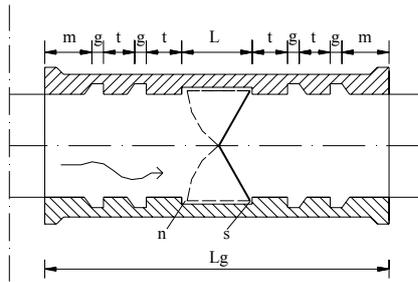
Sumber : *Irrigation And Hydraulic Design Vol. 3 Hydraulic Structures For Irrigation And Other Purposes*, Serge Leliavsky.

2.1.2 Dimensi Gerbang

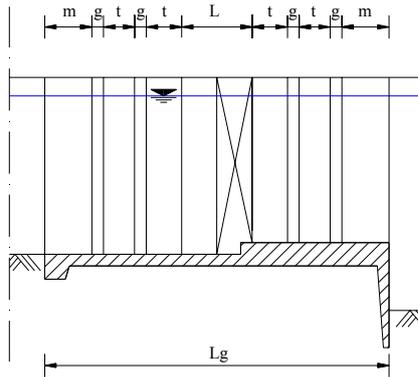
Gerbang merupakan bagian terpenting dari pintu air yaitu suatu bagian dari saluran pintu air yang secara umum terdiri atas pintu dan *schotbalk*. Melalui gerbang ini, kapal atau perahu satu persatu menuju atau keluar dari kamar. Dalam perhitungan dimensi gerbang harus diketahui dahulu ukuran celah *schotbalk*, lebar dinding geser yang menahan *schotbalk*, dan lebar pintu gerbang.

$$\begin{aligned} \text{Lebar gerbang} &= \text{lebar kapal} + (2 \times \text{kelonggaran samping}) \\ W_1 &= w + (2 \times a) \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang gerbang} &= (2 \times \text{jarak celah } \textit{schotbalk} \text{ ke tepi luar gerbang}) + (4 \times \\ &\text{celah } \textit{schotbalk}) + (4 \times \text{jarak antara celah } \textit{schotbalk}) + \\ &\text{panjang pintu gerbang} \\ L_g &= (2 \times m) + (4 \times g) + (4 \times t) + L \end{aligned} \quad (2.2)$$

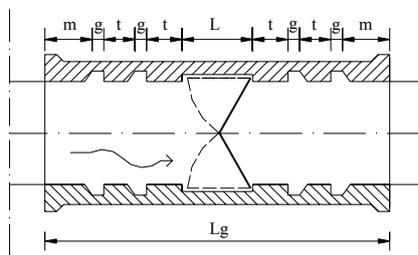


Tampak Atas

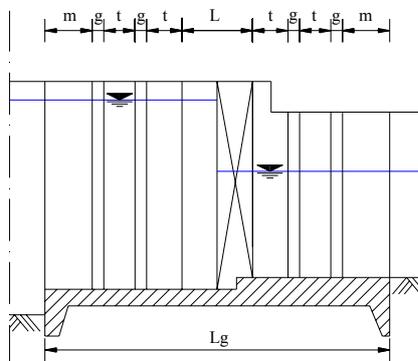


Tampak Samping

Gambar 2.4 Panjang Gerbang Bagian Hulu



Tampak Atas



Tampak Samping

Gambar 2.5 Panjang Gerbang Bagian Hilir

2.1.3 Dimensi Kamar

Kamar adalah bangunan berbentuk kolam yang berada diantara gerbang dari suatu saluran pintu air, yang berfungsi untuk menyesuaikan beda elevasi muka air akibat adanya bendung agar kapal dapat berlayar dari tempat yang satu ke tempat yang lain.

Perhitungan luas kamar disesuaikan dengan dimensi kapal (kapasitas layanan pintu air) dengan rumus sebagai berikut :

$$\bullet \text{ lebar kamar } (W_2) = 2.a + n.w + (n-1).e \quad (2.3)$$

$$\bullet \text{ panjang kamar } (Lk) = b + c + n.l + (n-1).e \quad (2.4)$$

$$\bullet \text{ luas kamar } (Fk) = W_2.Lk \quad (2.5)$$

$$\bullet \text{ Ruang gerak selam kapal } (H) = \text{draft} + d \quad (2.6)$$

Di mana :

a = kelonggaran samping (m)

n = jumlah kapal atau perahu

w = lebar kapal atau perahu (m)

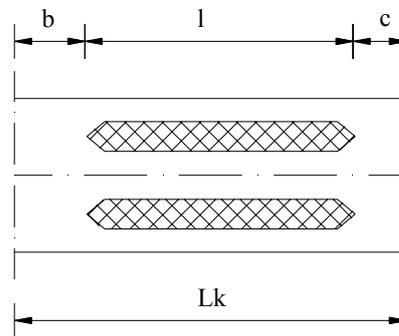
e = jarak antar kapal (m)

b = kelonggaran depan (m)

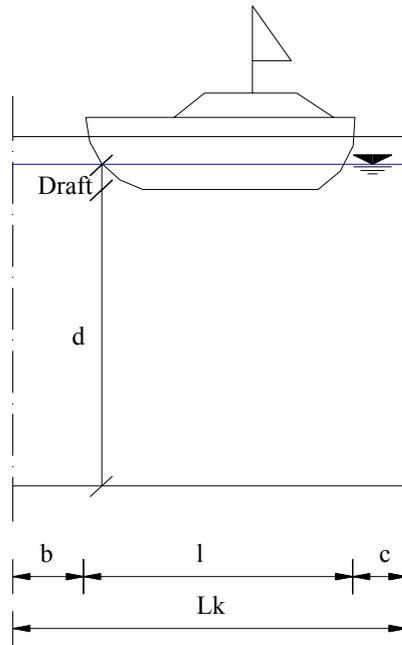
c = kelonggaran belakang (m)

l = panjang kapal atau perahu (m)

d = kelonggaran bawah (m)

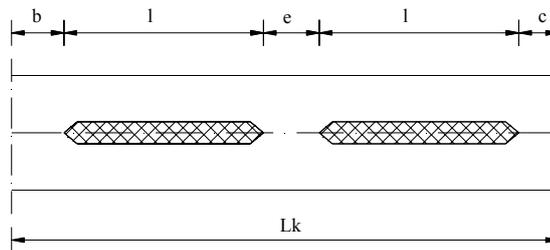


Tampak Atas

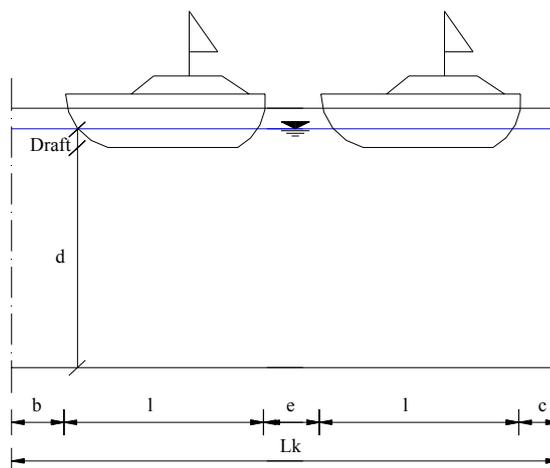


Tampak Samping

Gambar 2.6 Panjang Kamar untuk Kapal secara Paralel



Tampak Atas



Tampak Samping

Gambar 2.7 Panjang Kamar Untuk Kapal Secara Seri

2.1.4 Elevasi Dasar Saluran dan Tinggi Kamar

A. Elevasi Dasar Saluran

Perhitungan elevasi untuk peil-peil dasar saluran berdasarkan asumsi bahwa elevasi muka air pada saluran telah diketahui. Dengan berdasarkan elevasi muka air saluran yang telah diketahui, dapat ditentukan arah aliran airnya. Cara menentukan elevasi dasar saluran :

- muka ambang = muka air di titik tertentu – (*draft* + kelonggaran dasar) (2.7)

- elevasi dasar saluran = muka ambang – tinggi ambang (2.8)

B. Tinggi Kamar

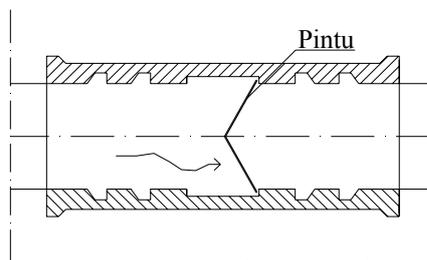
Tinggi kamar (H) adalah hasil penjumlahan dari beda elevasi muka air, tinggi selam kapal (*draft*), jarak kelonggaran dasar saluran, ambang dan tinggi jagaan (*freeboard*).

2.2 Macam, Operasional dan Jumlah Pintu Air

2.2.1 Macam Pintu Air

a). Pintu Kembar / Kupu Tarung (*Mitre Gate*)

Jenis pintu ini digunakan pada saluran yang cukup lebar, yaitu jika lebar saluran lebih dari 6 meter. Pemasangan menyudut 45° dengan maksud untuk mengurangi tekanan air pada pintu, sehingga dimensi pintu menjadi lebih kecil dan hemat. Jenis pintu ini biasanya menggunakan bahan baja.

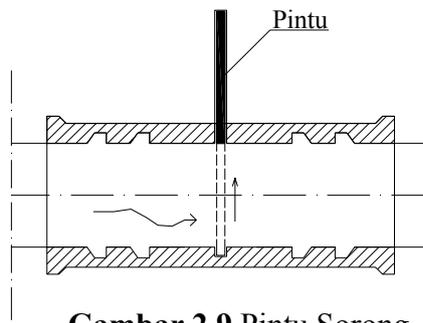


Gambar 2.8 Pintu Kembar

b). Pintu Sorong / Geser (*Rolling Gate*)

Jenis pintu ini digunakan pada saluran yang tidak terlalu lebar. Bahan pintu ini bisa memakai baja atau kayu, sesuai dengan kebutuhan dan perencanaan.

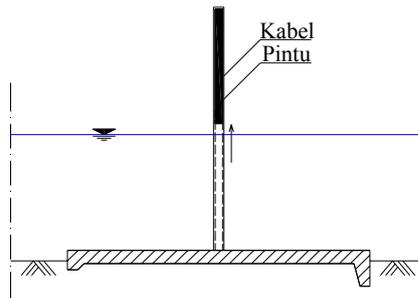
Untuk membuka atau menutup pintu dengan cara menggeser pintu ke arah samping seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.9 Pintu Sorong

c). Pintu Angkat / Kerek (*Lift Gate*)

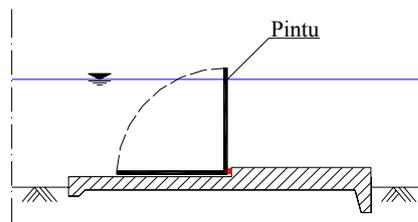
Pintu ini digunakan dengan cara mengangkat dan menurunkan pintu dari atas saluran dengan menggunakan kabel pengerek/pengangkat. Jenis pintu ini ideal dipakai jika saluran tidak terlalu lebar.



Gambar 2.10 Pintu Angkat

d). Pintu Rebah (*Falling Gate*)

Untuk membuka saluran, pintu ini ditarik/direbahkan ke bawah sampai sejajar plat lantai, sedangkan untuk menutupnya kembali dengan cara menegakannya.



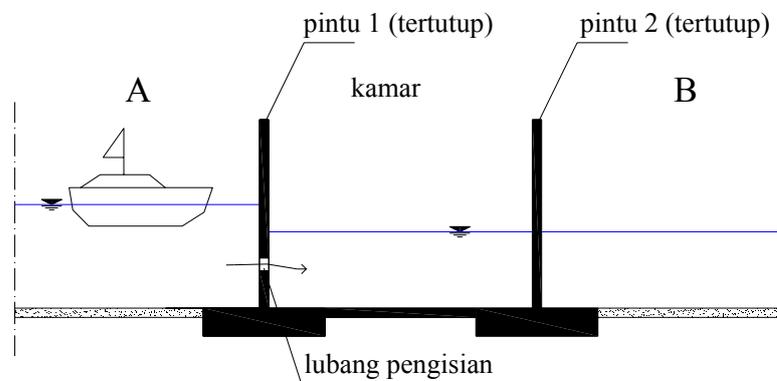
Gambar 2.11 Pintu Rebah

2.2.2 Operasional Pintu

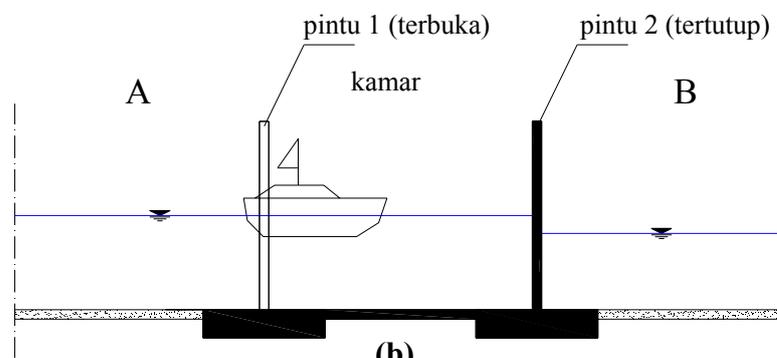
Operasional pintu air adalah suatu cara kerja pintu untuk mengatur elevasi muka air di dalam kamar maupun di luar kamar agar saluran dapat dilewati oleh kapal yang akan menuju saluran lain yang berbeda elevasi muka airnya. Berikut penjelasannya :

- Kapal dari saluran A menuju saluran B (elevasi saluran A lebih tinggi dari saluran B)

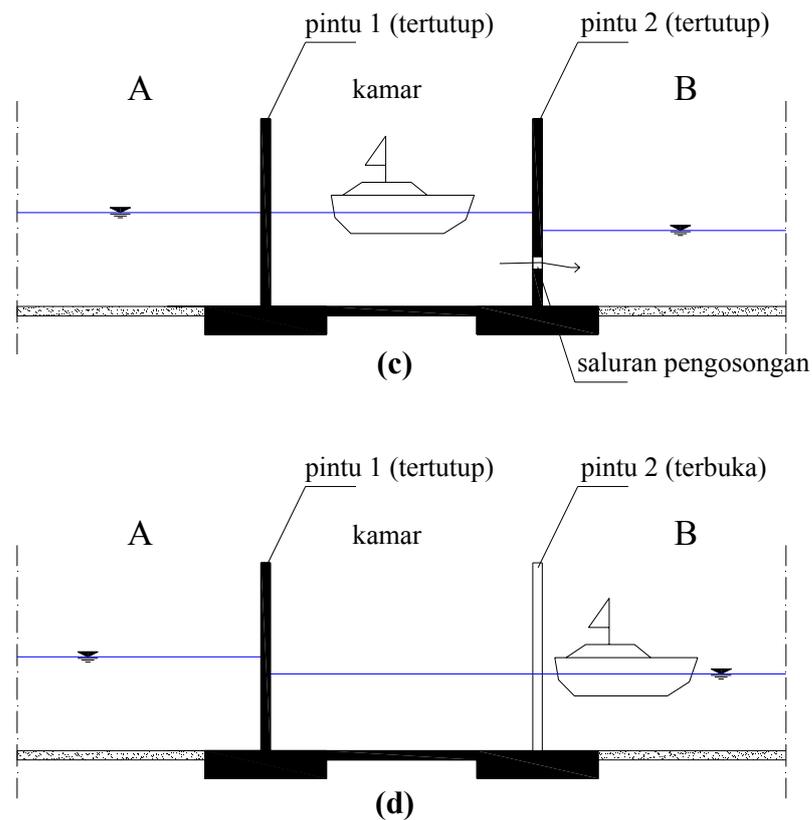
Elevasi muka air dalam kamar disamakan dengan elevasi muka air pada saluran A, dengan cara menutup pintu 1 dan 2 kemudian mengalirkan air melalui lubang pengisian. Setelah muka air sama maka pintu 1 dibuka sedang pintu 2 tetap dalam kondisi tertutup. Kapal masuk ke dalam kamar, setelah itu pintu 1 kembali ditutup. Untuk menuju saluran B, muka air dalam kamar harus disamakan dengan muka air di saluran B dengan cara mengalirkan air melalui saluran pengosongan. Setelah muka airnya sama maka pintu 2 bisa dibuka dan kapal bisa berlayar ke saluran B. Di bawah ini merupakan gambar pergerakan kapal dari saluran A ke saluran B.



(a)



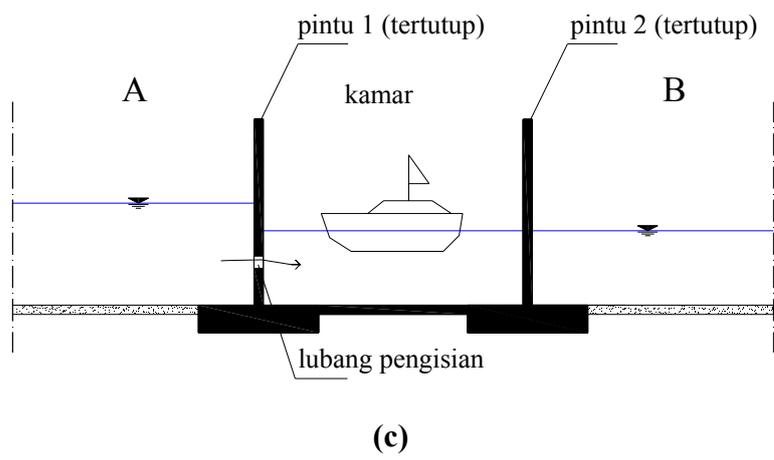
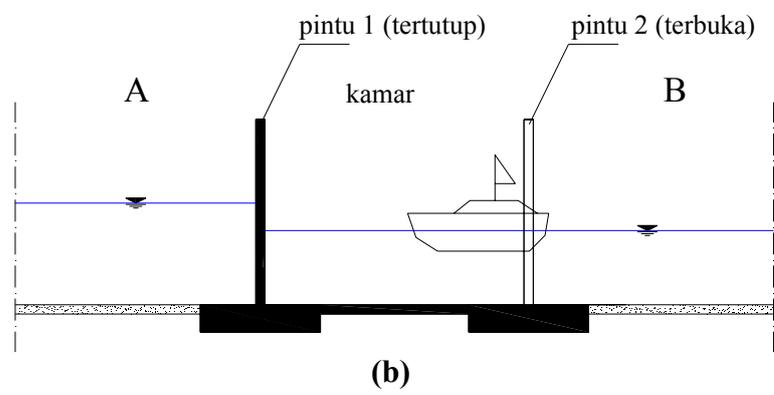
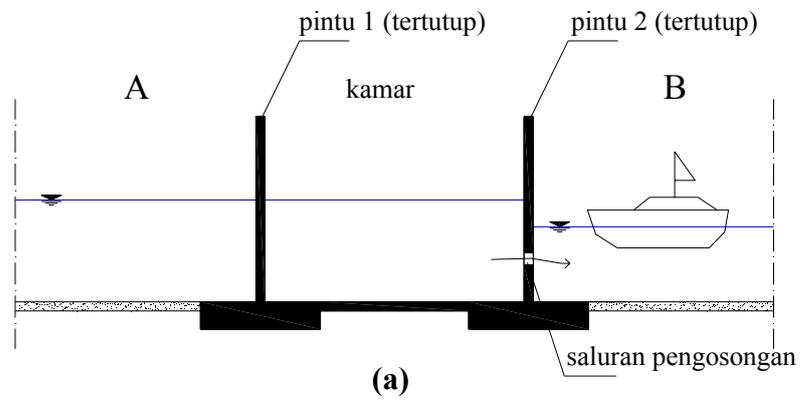
(b)

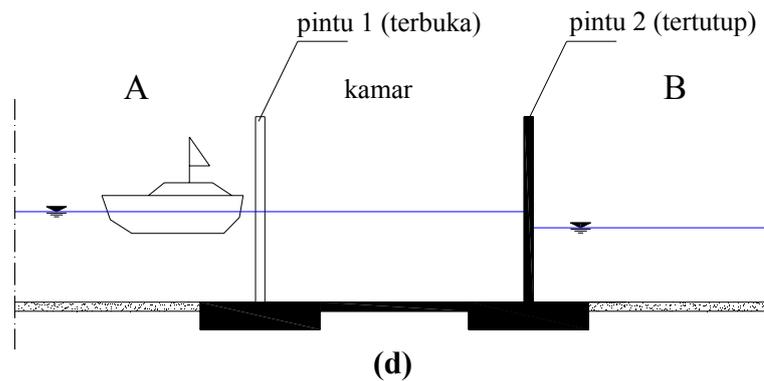


Gambar 2.12 Pergerakan Kapal dari Saluran A ke Saluran B

- (a) pintu 1 dan 2 tertutup, lubang pengisian terbuka; (b) pintu 1 terbuka, pintu 2 tertutup; (c) pintu 1 dan 2 tertutup, saluran pengosongan terbuka; (d) pintu 1 tertutup, pintu 2 terbuka

- Kapal dari saluran B menuju saluran A (elevasi saluran B lebih rendah dari saluran A)
Sebelum kapal dari saluran B masuk ke kamar, pastikan elevasi muka air dalam kamar sama dengan elevasi muka air saluran B. Apabila sudah sama maka pintu 2 bisa dibuka dan kapal bisa masuk dalam kamar. Selanjutnya untuk menuju ke saluran A pastikan bahwa pintu 1 dan 2 tertutup selama kapal berada dalam kamar. Kemudian menyamakan elevasi muka air di kamar dengan saluran A dengan cara mengalirkan air melalui lubang pengisian. Setelah muka airnya sama, pintu 1 bisa dibuka dan kapal bisa berlayar ke saluran A. Di bawah ini merupakan gambar pergerakan kapal dari saluran B ke saluran A.





Gambar 2.13 Pergerakan Kapal dari Saluran B ke Saluran A

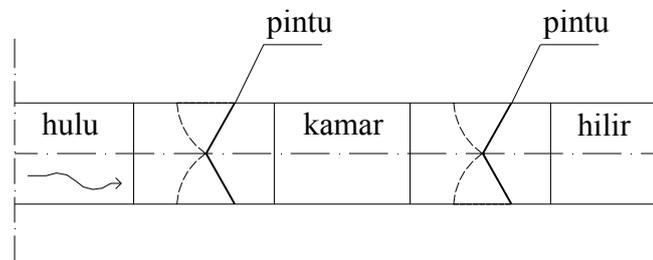
(a) pintu 1 dan 2 tertutup, saluran pengosongan terbuka; (b) pintu 1 tertutup, pintu 2 terbuka; (c) pintu 1 dan 2 tertutup, lubang pengisian terbuka; (d) pintu 1 terbuka, pintu 2 tertutup

2.2.3 Penentuan Jumlah Pintu

Dalam menentukan jumlah pintu air harus berdasarkan pada elevasi muka air dan arah aliran yang ditahan oleh pintu. Operasional dan jumlah pintu pada umumnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pintu pada daerah tanpa pengaruh pasang surut

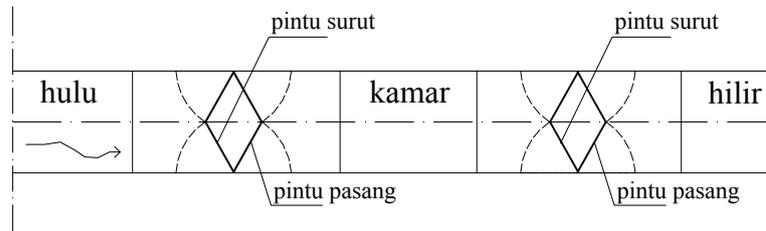
Pada daerah sungai yang jauh dari laut maka tidak mengalami pasang surut air. Yang harus diperhatikan pada daerah seperti ini adalah arah dari aliran air. Hal ini terkait dengan arah bukaan pintu yaitu menghadap aliran air.



Gambar 2.14 Pintu Air pada Daerah Tanpa Pasang Surut

2. Pintu pada daerah pasang surut.

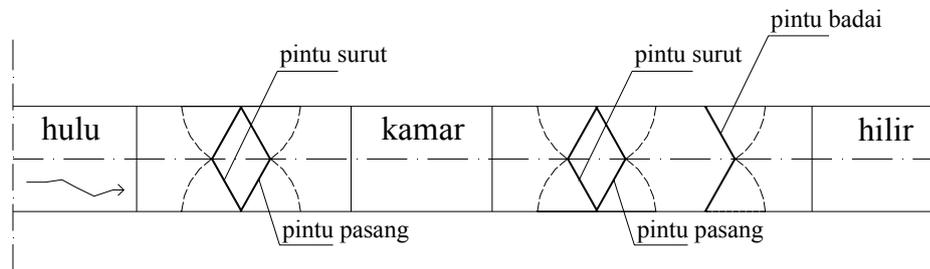
Pada daerah sungai yang dekat dengan laut biasanya terkena pengaruh pasang surut air laut. Pada kondisi seperti ini setiap gerbang terdapat 2 pintu.



Gambar 2.15 Pintu Air pada Daerah Pasang Surut

3. Pintu pada daerah pasang surut dan pengaruh badai

Setiap gerbang terdapat 2 pintu untuk pengaruh terhadap pasang surut dan untuk daerah dengan gelombang yang cukup tinggi sehingga dapat sewaktu-waktu terjadi badai pada bagian hilir ditambah 1 pintu badai yang berguna sebagai perisai.

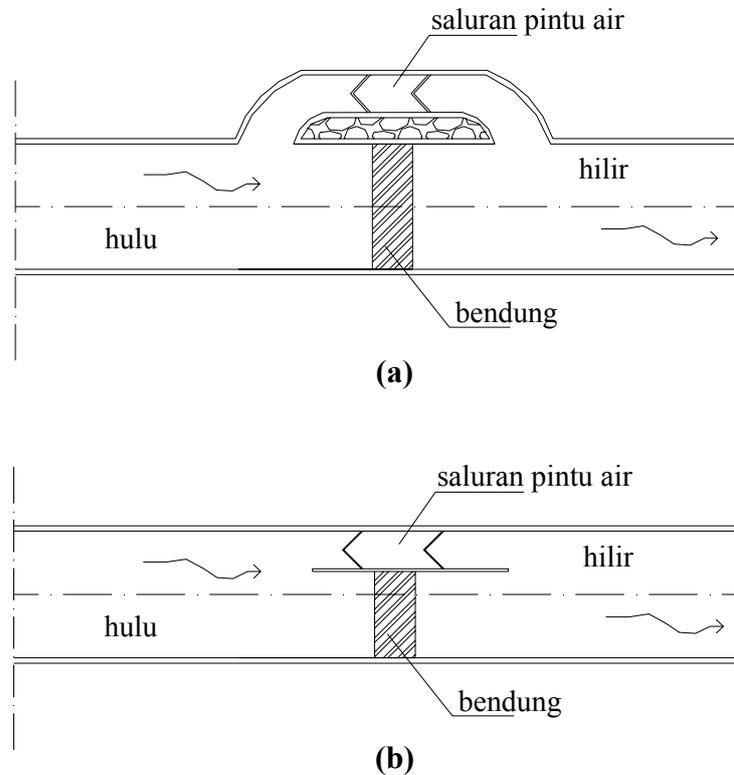


Gambar 2.16 Pintu Air pada Daerah Pasang Surut dan Badai

2.3 Perencanaan Bentuk Bangunan

Bentuk bangunan saluran pintu air yang memungkinkan untuk dapat dilaksanakan ada beberapa alternatif, dengan anggapan bahwa bentuk-bentuk tersebut telah mempertimbangkan perkembangan pelayaran dalam jangka waktu tertentu termasuk juga pertimbangan kapasitas pelayaran, yaitu mampu melayani beberapa kapal/perahu sekaligus. Tujuan dari pada alternatif perencanaan ini

adalah untuk dapat menentukan suatu bentuk bangunan yang efektif dan efisien. Di bawah ini adalah beberapa alternatif bangunan yang mungkin dilaksanakan :



Gambar 2.17 Penempatan Saluran Pintu Air

(a) Saluran Pintu Air Terpisah dengan Bendung; (b) Saluran Pintu Air Terletak pada Bendung

Hal-hal yang menjadi pertimbangan dalam teknis pelaksanaan pada gambar di atas adalah sebagai berikut :

(a). Saluran Pintu Air Terpisah dengan Bendung

- Adanya pekerjaan pembebasan tanah yang cukup luas.
- Adanya pekerjaan galian dan urugan dengan volume yang cukup besar.
- Dalam pelaksanaan pekerjaan tidak mengganggu aktifitas bendung dan tidak ada pekerjaan pemindahan aliran sungai.

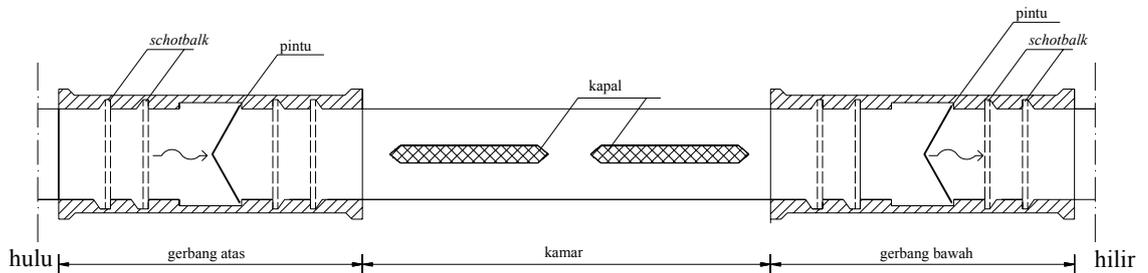
(b). Saluran Pintu Air Terletak pada Bendung

- Terdapat pekerjaan pembebasan tanah namun tidak begitu besar.
- Pekerjaan galian dan urugan tidak begitu besar.

- Dalam pelaksanaan pekerjaan mengganggu aktifitas bendung serta terdapat pekerjaan pemindahan aliran sungai.

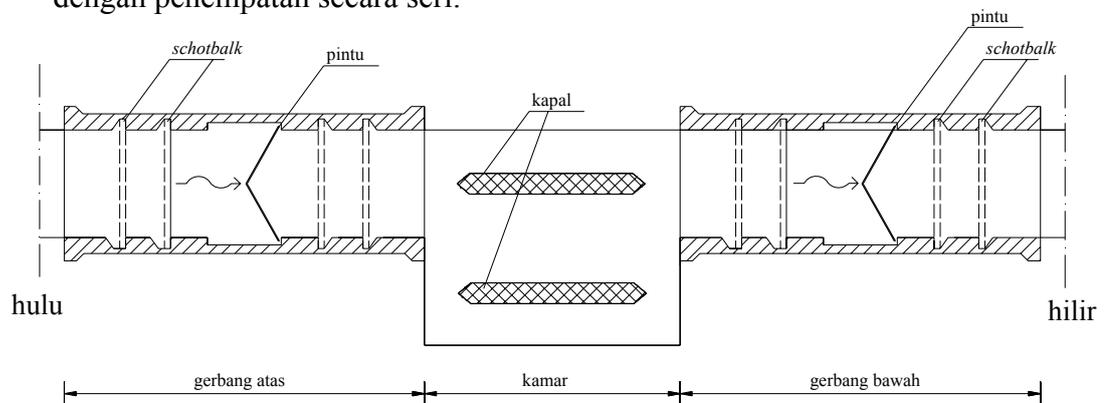
Bentuk saluran pintu air dapat dibagi menjadi beberapa bentuk kemungkinan sebagai berikut :

1. Kapal ditempatkan berurutan secara seri. Kelemahan bentuk ini adalah memerlukan kamar yang cukup panjang, sehingga membutuhkan lahan yang besar pula, khususnya ke arah memanjang. Di samping itu, jika dinding kamar terlampaui panjang, maka bahaya rembesan juga semakin besar. Keuntungannya adalah lebar saluran kecil dan kapal yang masuk pertama keluar pertama.



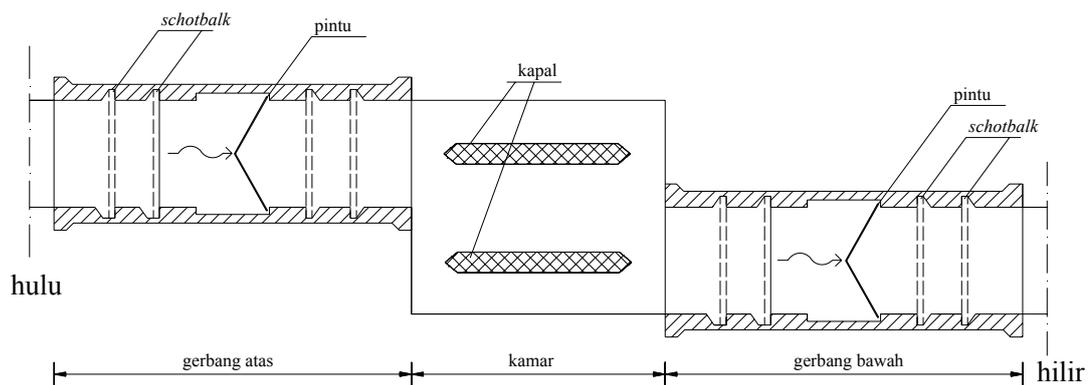
Gambar 2.18 Saluran Pintu Air dengan Kapal Ditempatkan Seri

2. Kapal ditempatkan sejajar (paralel) satu dengan lainnya, di mana kapal yang masuk kamar lebih dahulu harus menunggu kapal lainnya yang belum masuk. Kelemahan bentuk ini yaitu kapal yang masuk terakhir akan keluar lebih dahulu. Keuntungannya adalah kamar tidak terlalu panjang dibandingkan dengan penempatan secara seri.



Gambar 2.19 Saluran Pintu Air dengan Kapal Ditempatkan Paralel dengan Pintu Masuk dan Keluar Sejajar

3. Kapal ditempatkan sejajar (paralel) satu dengan lainnya, akan tetapi kapal yang masuk kamar dahulu nantinya akan keluar kamar terlebih dahulu pula, setelah sebelumnya harus menunggu kapal yang lainnya memasuki kamar. Keuntungan bentuk ini adalah dalam hal keadilan, di mana kapal yang masuk pertama akan keluar pertama. Akan tetapi, kelemahan bentuk ini adalah membutuhkan lahan yang cukup lebar, sehingga kurang efisien.



Gambar 2.20 Saluran Pintu Air dengan Kapal Ditempatkan Paralel dengan Pintu Masuk dan Keluar Tidak Sejajar

2.4 Konstruksi Pintu Air

Perencanaan konstruksi pintu air meliputi: perhitungan *schotbalk*, bidang geser penahan *schotbalk*, pintu gerbang, engsel, angker, dinding dan lantai.

2.4.1 *Schotbalk*

Schotbalk adalah konstruksi yang terdiri dari profil baja yang disusun melintang saluran/kanal dan berfungsi untuk membendung air pada saat perbaikan pintu gerbang ataupun pada saat pembersihan kolam dari lumpur. Untuk mencegah kebocoran, maka diantara balok *schotbalk* diisi dengan tanah lempung dan kapur, karena sifat tanah lempung yang tidak tembus air.

Direncanakan menggunakan profil baja IWF dengan mempertimbangkan tekanan air yang dibendung. Perhitungan dimensi *schotbalk* yaitu:

A. Pembebanan

Tekanan hidrostatik diambil yang terbesar untuk penentuan dimensi.

Rumus tekanan hidrostatik adalah sebagai berikut :

$$P_{aw} = \gamma_w \cdot 1/2 \cdot (h_1 + h_2) \quad (\text{t/m}^2) \quad (2.9)$$

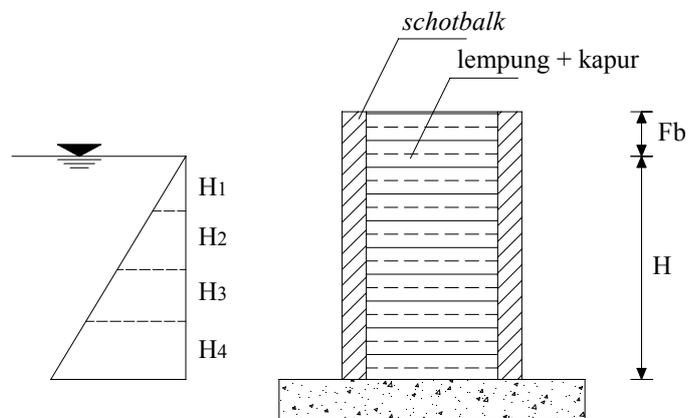
$$q_h = \gamma_w \cdot 1/2 \cdot (h_1 + h_2) \cdot b \quad (\text{t/m}) \quad (2.10)$$

$$M = 1/8 \cdot q_h \cdot L^2 \quad (2.11)$$

Di mana:

$$\gamma_w = 1 \quad (\text{t/m}^3)$$

L = lebar saluran (m)



Gambar 2.21 Tekanan Hidrostatik pada *Schotbalk*

Penentuan profil :

$$\sigma_{ijin} = \frac{M}{W_{br}} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (2.12)$$

$$W_{br} = \frac{1,25 \cdot M}{\sigma} \quad (\text{cm}^3) \quad (2.13)$$

Ditentukan profil.....(misal profil x), didapat $W_x > W_{br}$

Check terhadap kekuatan bahan :

$$\tau = \frac{D \cdot S_x}{t \cdot I_x} \quad \text{syarat : } \tau \leq \tau_{ijin} = 0,58 \cdot \sigma_{ijin} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (2.14)$$

$$f = \frac{5 \cdot L^2 \cdot M_{maks}}{48 \cdot E \cdot I_x} \quad \text{syarat : } f \leq 1/500 \cdot L \quad (\text{cm}) \quad (2.15)$$

Di mana :

D = gaya lintang (kg)

T = tebal badan profil (cm)

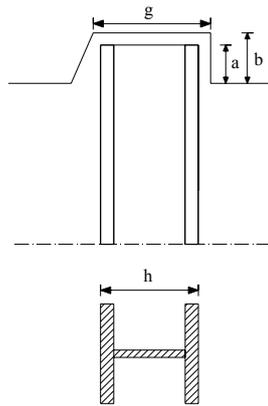
S_x = momen statis profil (cm^3)

E = modulus elastisitas baja = $2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$

I_x = momen inersia profil (cm^4)

B. Perhitungan Celah Balok

Celah balok *schotbalk* salah satu sisinya dibuat miring dengan tujuan untuk mempermudah dalam pemasangan atau pembongkaran balok *schotbalk*.



Gambar 2.22 Celah *Schotbalk*

Rumus :

$$a = (0,5 \cdot h + 5), \text{ minimal } 30 \text{ cm} \quad (2.16)$$

$$b = a + (3 + 0,1 \cdot h) \text{ (cm)} \quad (2.17)$$

$$g = h + (3 + 0,1 \cdot h) + 1 \text{ (cm)} \quad (2.18)$$

Di mana :

a = panjang minimum *schotbalk* pada celah *schotbalk* (cm)

b = kedalaman celah *schotbalk* (cm)

g = celah *schotbalk* (m)

h = tebal *schotbalk* (tinggi profil) (cm)

C. Lebar Bidang Geser

Lebar bidang geser yang dimaksud di sini adalah bidang dinding geser yang menahan *schotbalk* pada saat membendung air yang sekaligus untuk menentukan jarak antara celah *schotbalk* (t).

Rumus-rumus perhitungan :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H^2 \text{ (kg/m)} \quad (2.19)$$

$$D = P.W \text{ (kg)} \quad (2.20)$$

$$\tau_b = D/A \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (2.21)$$

$$A = H_D.L \text{ (m}^2\text{)} \quad (2.22)$$

Di mana :

W = lebar saluran (m)

A = luas lebar bidang geser (m²)

H_D = tinggi bendung (m)

γ_w = berat jenis air = 1000 kg/m³

P = beban merata akibat tekanan hidrostatik pada *schotbalk* (kg/m)

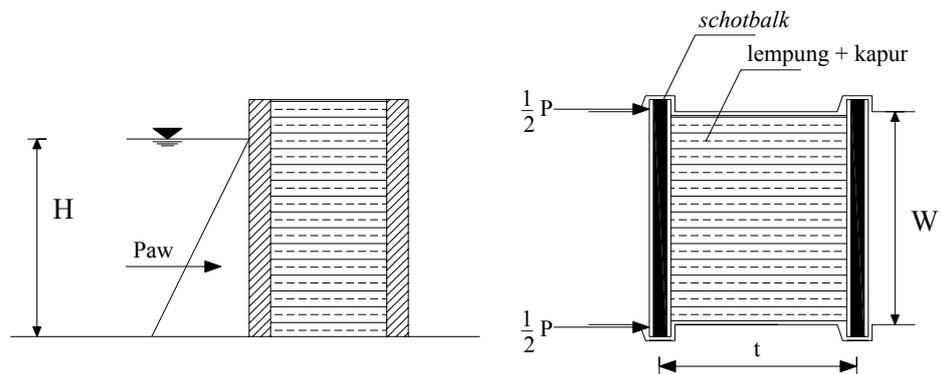
D = gaya geser yang bekerja pada dinding akibat *schotbalk* (kg)

τ_b = tegangan geser ijin beton (kg/m²)

H = tinggi muka air dari dasar saluran (m)

L = lebar bidang geser (m)

Untuk keseragaman (L) hanya diperhitungkan terhadap *schotbalk* yang menahan tekanan hidrostatik terbesar.



Gambar 2.23 Bidang Geser Dinding Penahan *Schotbalk*

2.4.2 Pintu Gerbang (*Lock Gates*)

Pintu gerbang merupakan bagian terpenting dari keseluruhan konstruksi pintu air, karena dengan pengoperasian (membuka dan menutup) pintu gerbang inilah maka proses pemindahan kapal dari level air yang berbeda pada satu saluran atau lebih dapat terlaksana.

Syarat utama pintu gerbang adalah sebagai berikut :

- Gerbang harus kedap air, meskipun dalam prakteknya sangat sulit untuk menghindari kebocoran terutama kebocoran kecil.
- Gerbang harus merupakan konstruksi kaku dan tetap stabil selama pengoperasiannya. Lantai dan dinding pada bagian gerbang merupakan satu kesatuan yang kokoh, tidak boleh terjadi perubahan kedudukan selama pengoperasiannya.

A. Pembebanan untuk Pintu Gerbang

Untuk menentukan pembebanan pada pintu gerbang, dengan membagi tinggi pintu gerbang (H) menjadi beberapa segmen secara grafis dengan panjang yang sama sesuai dengan tekanan hidrostatik yang diterima pintu gerbang. Rumus mencari tekanan (pembebanan) terbesar pada gerbang sama seperti pembagian segmen pada *shotbalk* di atas.

$$q = \gamma_w \cdot 1/2 \cdot (h_1 + h_2) \cdot b \text{ (kg/m)}$$

B. Perhitungan Lebar Pintu Gerbang

Hasil perhitungan lebar praktis ini akan dipergunakan sebagai data untuk perhitungan dimensi pintu selanjutnya. Rumus praktisnya :

$$L = \sqrt{(1/6.W)^2 + (1/2.W)^2} \quad (2.23)$$

Di mana : W = lebar saluran (m)

C. Perhitungan Tebal Pelat Baja Penutup Pintu Gerbang

Pembebanan untuk pelat penutup dicari dengan q_{maks} yang mempunyai lapangan terluas. Perhitungan pelat didasarkan pada segmen yang menderita tekanan terbesar dan mempunyai lapangan terluas (diambil segmen terluas) menggunakan rumus *Bach* berikut :

$$\sigma_{ijin} = 1/2 \cdot k \cdot P \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{(a^2 + b^2) \cdot t^2} \quad (2.24)$$

Di mana :

σ_{ijin} = tegangan baja yang diijinkan (kg/cm²)

- k = koefisien kondisi tumpuan, k = 0,8 (muatan tetap)
- a = jarak antar segmen vertikal (cm)
- b = jarak antar segmen horizontal (cm)
- P = tekanan air (kg/cm²)
- t = tebal pelat baja penutup pintu (mm)

D. Perhitungan Balok Vertikal dan Balok Horizontal

Balok vertikal dan balok horizontal direncanakan menggunakan dimensi yang sama sehingga untuk perhitungan dimensinya didasarkan pada beban yang terbesar (antara balok vertikal dan balok horizontal) dengan tumpuan sendi dan rol atau persambungan balok dengan menggunakan baut.

- Pembebanan

1. Pembebanan balok vertikal

$$M = 1/8 \cdot q_v \cdot b^2 \text{ (kg.m)} \quad (2.25)$$

Di mana :

q_v = muatan yang diterima balok vertikal (kg/m)

b = jarak antar balok horizontal (m)

2. Pembebanan balok horizontal

$$M = 1/8 \cdot q_h \cdot L^2 \text{ (kg.m)}$$

Di mana :

q_h = muatan yang diterima balok horizontal (kg/m)

L = lebar saluran (m)

- Penentuan Profil

$$\sigma_{ijin} = \frac{M}{W_{br}} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$W_{br} = \frac{1,25 \cdot M}{\sigma} \text{ (cm}^3\text{)}$$

Ditentukan profil.....(misal profil x), didapat $W_x > W_{br}$

- Check Terhadap Kekuatan Bahan

$$\tau = \frac{D \cdot S_x}{t \cdot I_x} \quad \text{syarat : } \tau \leq \tau_{ijin} = 0,58 \sigma_{ijin} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$f = \frac{5.L^2.M_{maks}}{48.E.I_x} \quad \text{syarat : } f \leq 1/500.L \text{ (cm)}$$

Di mana :

D = gaya lintang (kg)

t = tebal badan profil (cm)

S_x = momen status profil (cm³)

E = modulus elastisitas baja = 2,1.10⁶ kg/cm²

I_x = momen inersia profil (cm⁴)

E. Perhitungan Tebal Pintu Gerbang

$$tp = h + 2t \quad (2.26)$$

Di mana :

h = tinggi balok horizontal (cm)

t = tebal pelat penutup pintu (cm)

tp = tebal pintu (cm)

F. Perhitungan Lebar Pintu Gerbang

Perhitungan ini adalah untuk lebar pintu sebenarnya setelah semua data yang dibutuhkan telah diketahui (langkah-langkah perhitungan di atas).

Rumus lebar pintu gerbang (L) adalah sebagai berikut :

$$L = \frac{w/2 + z + m + t/2}{\cos \alpha} + t/2 + (j \cdot \tan \alpha) \quad (2.27)$$

Di mana :

w = lebar gerbang (cm)

m = 2-5 cm

z = 10-15 cm

t = tebal pintu gerbang (cm)

j = 0,2 t (cm)

α = sudut antara gerbang saat terbuka dengan garis vertikal

2.4.3 Engsel Pintu Gerbang

Pembebanan pada engsel pintu gerbang (engsel atas dan engsel bawah) yang diperhitungkan adalah akibat :

- Pengaruh berat pintu gerbang sendiri
- Pengaruh tekanan hidrostatik

Akibat pengaruh kedua gaya tersebut maka terdapat dua gaya reaksi yang bekerja pada engsel atas dan engsel bawah yang diperhitungkan sebagai gaya-gaya engsel.

A. Perhitungan Gaya-Gaya pada Engsel

- Keseimbangan akibat berat pintu :

$$Kg = \frac{[(G.a) - (V.b)]}{h} \quad (2.28)$$

$$Kg_1 = Kg \quad (\leftarrow)$$

$$Kg_2 = Kg \quad (\rightarrow)$$

Di mana :

Kg = gaya reaksi engsel akibat berat pintu (kg)

G = berat pintu (kg)

a = lengan momen G terhadap sumbu engsel (m)

h = tinggi pintu gerbang (m)

V = gaya angkat pengapung (kg)

b = lengan momen V terhadap sumbu engsel (m)

- Keseimbangan akibat tekanan hidrostatik

$$Kw_1 = \frac{P \cdot \frac{1}{3} H'}{h} \quad (\rightarrow) \quad (2.29)$$

$$Kw_2 = \frac{P(F_b + \frac{2}{3} H')}{h} \quad (\rightarrow) \quad (2.30)$$

Di mana :

Kw = gaya reaksi engsel akibat tekanan hidrostatik (kg)

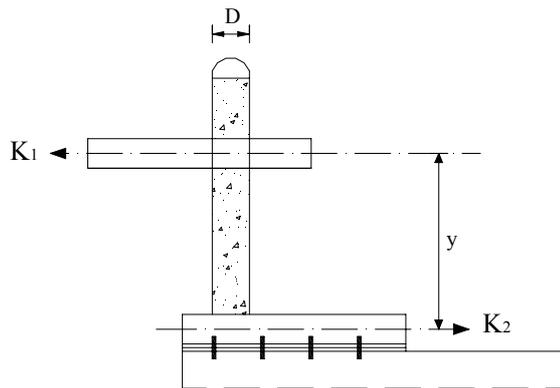
F_b = tinggi jagaan (*freeboard*) (m)

L = lebar pintu gerbang (m)

- H = tinggi tekanan hidrostatik (m)
- H' = tinggi tekanan hidrostatik = H- tinggi sponning (m)
- h = tinggi pintu gerbang (m)
- P = resultan tekanan hidrostatik = $\frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H' \cdot L$ (kg/m)

B. Perhitungan Dimensi Engsel Atas

- Perhitungan diameter pen engsel :



Gambar 2.24 Engsel Atas

$$K' = \sqrt{(Kg_1)^2 + (Kw_1)^2} \quad (2.31)$$

$$M = y \cdot K_1 \quad (2.32)$$

$$W = \frac{M}{\sigma_{ijin}} \text{ (cm}^3\text{)} \quad \sigma_{ijin} = 1400 \text{ kg/cm}^2 \quad (2.33)$$

$$W = \frac{\pi D^3}{32} \quad (2.34)$$

Didapat diameter pen engsel atas D

Di mana :

K' = resultan gaya pada engsel atas (kg)

y = lengan momen (cm)

D = diameter pen engsel atas (cm)

- Check terhadap geser, rumus :

$$\tau = \frac{4K'}{3\pi R^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \tau \leq \tau_{ijin} = 0,58 \sigma_{ijin} \quad (2.35)$$

Di mana :

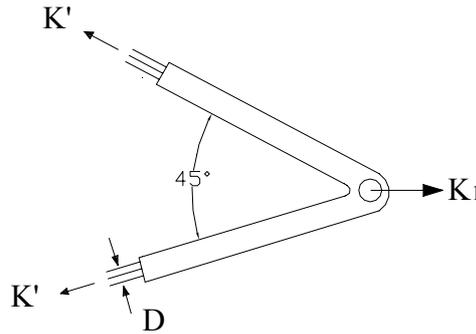
R = jari-jari engsel (cm)

- Perhitungan diameter stang angker

$$K' = \frac{1}{2} \cdot K_1 \cdot \cos\left(\frac{1}{2} \alpha\right) \quad (\text{kg}) \quad (2.36)$$

$$F = \frac{K'}{\sigma} \quad (\text{kg}) \quad \sigma_{\text{ijin}} = 1400 \text{ kg/cm}^2 \quad (2.37)$$

$$F = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (\text{cm}^2) \quad \text{maka didapat } D. \quad (2.38)$$



Gambar 2.25 Stang Angker

- Perhitungan Pelat Angker

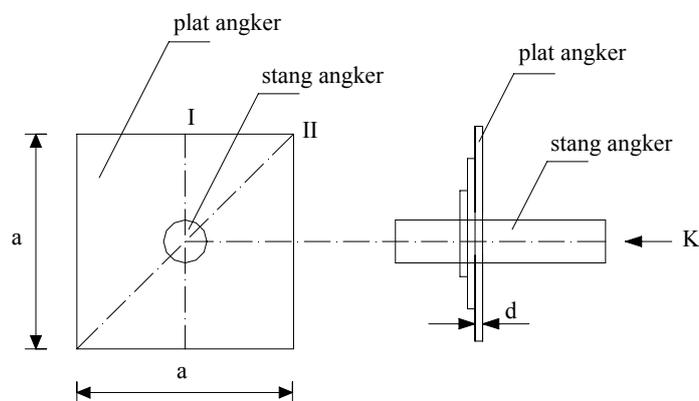
$$F = \frac{K_1}{\sigma_{bs}} \quad (\text{cm}^2) \quad \text{didapat nilai } a \text{ (lebar pelat)} \quad (2.39)$$

Di mana :

$$F = \text{luas pelat angker} = a^2 \quad (\text{cm}^2) \quad (2.40)$$

$$\sigma_{bs} = 0,56 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 0,56 \sqrt{225} = 8,4 \text{ kg/cm}^2 \quad (2.41)$$

δ = tebal pelat (mm)



Gambar 2.26 Pelat Angker

Tinjauan terhadap potongan

- Potongan I-I

$$M = \frac{1}{2} \sigma_{bs} \cdot a \cdot (\frac{1}{2} \cdot a)^2 = \frac{1}{8} \sigma_{bs} \cdot a^3 \quad (\text{kg cm}) \quad (2.42)$$

$$W = \frac{M}{\sigma} \quad (\text{cm}^3) \quad \sigma_{ijjin} = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot a \cdot \delta^2 \quad (\text{cm}^3) \quad (2.43)$$

Diperoleh tebal pelat (δ) (mm)

- Potongan II-II

$$P = \frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot \sigma_{bs} \quad (\text{kg}) \quad (2.44)$$

$$M = P \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot \sqrt{2} \quad (\text{kg cm}) \quad (2.45)$$

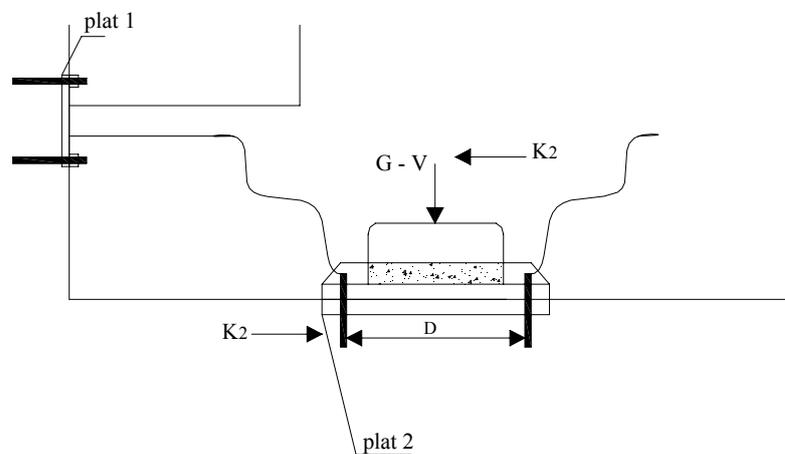
$$W = \frac{M}{\sigma} \quad (\text{cm}^3) \quad \sigma_{ijjin} = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot a \cdot \delta^2 \quad (\text{cm}^3)$$

Diperoleh diameter pelat angker atas (δ) (mm)

Dari peninjauan dicari yang terbesar

C. Dimensi Engsel Bawah



Gambar 2.27 Engsel Bawah

• Perhitungan diameter pen engsel :

$$K_2 = K_{w2}$$

$$F = \frac{G - V}{\sigma} \rightarrow \sigma_{ijjin} = 1400 \text{ kg/cm}^2 \quad (2.46)$$

$$F = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (\text{cm}^2)$$

Diperoleh diameter pen engsel (D) (mm)

- Check terhadap geser :

$$\tau = \frac{4K_2}{3\pi R^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \tau \leq \tau_{ijin} = 0,58 \sigma_{ijin}$$

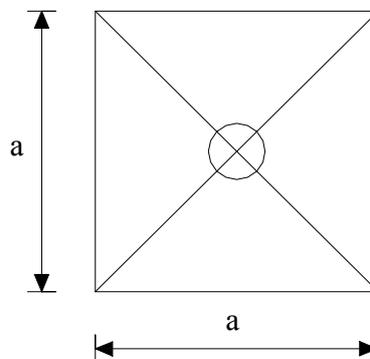
Di mana :

D = diameter pen engsel bawah (cm)

G = berat pintu (kg)

V = gaya angkat pengapung (kg)

D. Perhitungan Pelat Andas



Gambar 2.28 Pelat Andas

$$F = \frac{G}{\sigma'_{bs}} \rightarrow \sigma_{ijin} = 1400 \text{ kg/cm}^2 \quad (2.47)$$

$$F = \text{Luas penampang andas} = a^2 \text{ (cm}^2\text{)}$$

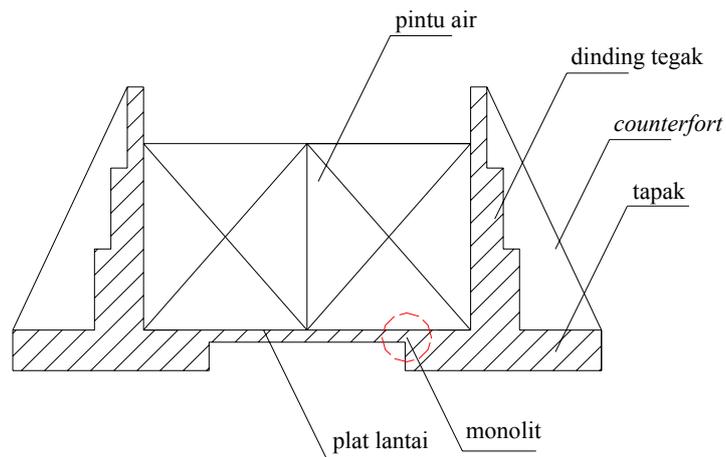
Diperoleh panjang sisi pelat andas (a) (cm)

$$\sigma_{bs} = 0,36 \sqrt{\sigma'_{bk}} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \rightarrow \text{beban tetap}$$

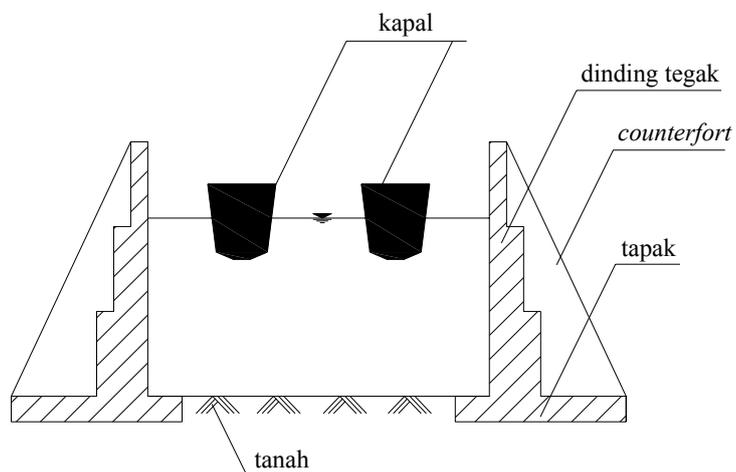
2.4.4 Dinding (*Lock Walls*)

Dinding yang dimaksud di sini terdiri dari dua jenis, yaitu dinding pada pintu gerbang dan dinding pada kamar. Perencanaan dinding pada pintu gerbang dibuat monolit dengan pelat lantainya. Hal ini dilakukan untuk dapat menahan tekanan pada saat pintu air membuka dan menutup dan agar tidak terjadi

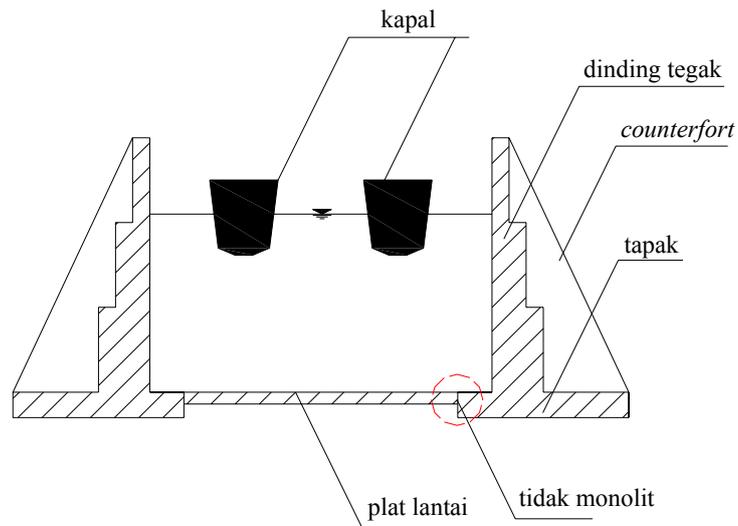
rembesan/kebocoran pada pintu. Sedangkan perencanaan dinding pada bagian kamar dapat dilakukan dengan menggunakan pelat lantai maupun tanpa pelat lantai (tanah biasa). Pada kamar dapat digunakan tanah biasa karena tidak terdapat pintu air dan jika bahaya rembesan tidak sampai ke kamar, tetapi jika bahaya rembesan terlalu besar maka pada kamar pelat lantai di buat monolit dengan dinding. Pada kamar yang menggunakan pelat lantai, hubungan antara dinding dengan pelat diberi *water stop*.



Gambar 2.29 Dinding pada Bagian Gerbang



Gambar 2.30 Dinding pada Kamar tanpa Pelat Lantai



Gambar 2.31 Dinding Pada Kamar dengan Pelat Lantai

Ada beberapa tipe dinding yang dapat digunakan untuk konstruksi pintu air, dari bentuk yang paling sederhana berupa konstruksi turap (*sheet pile*) kayu, hingga konstruksi dinding konsol dari beton bertulang (*reinforced concrete*).

Dinding saluran pintu air terdiri dari konsol beton bertulang dengan perkuatan belakang (*counterfort*). Sebelum melakukan perhitungan dinding, harus diketahui dulu kondisi tanahnya dan dalam perhitungan dinding dibagi dalam tiga bagian yaitu :

1. Bagian tapak (*toe and heel*)
2. Bagian dinding tegak
3. Bagian perkuatan belakang (*counterfort*)

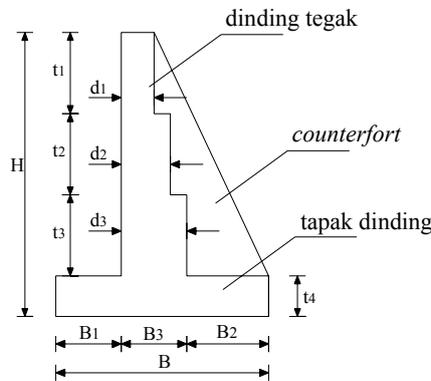
Langkah-langkah perencanaan dinding untuk bangunan pintu air adalah sebagai berikut :

A. Pembebanan pada dinding

Dalam perencanaan dimensi dinding, gaya-gaya yang bekerja ditinjau pada saat kamar dalam keadaan kosong. Gaya-gaya yang bekerja adalah akibat tekanan tanah aktif, tekanan air tanah, beban merata di atas tanah, berat sendiri dinding yang sudah ditentukan dimensinya dan gaya gempa. Perhitungan terdiri dari beberapa langkah yaitu :

- Rencana dimensi dinding

Dimensi dinding direncanakan terlebih dahulu dengan ketentuan seperti gambar berikut :



Keterangan :

$$d_1 = 2 - 3 \text{ (cm)}$$

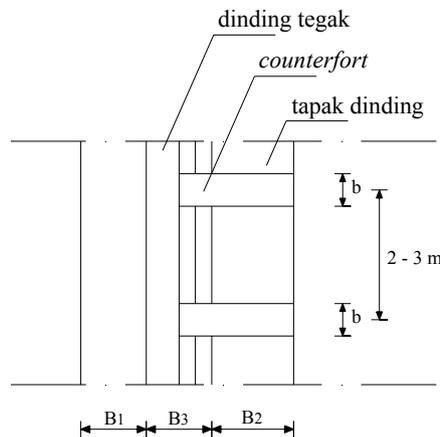
$$t_4 = H/14 - H/12 \text{ (m)}$$

$$B_1 = 1/3 H \text{ (m)}$$

$$B_3 = H/12 - H/10 \text{ (m)}$$

$$B = 0,4 - 0,7 H \text{ (m)}$$

$$b = 2 - 3 \text{ (m)}$$



Gambar 2.32 Bentuk Rencana Dinding Konsol

- Perhitungan koefisien tekanan tanah aktif

Dari boring test dapat diketahui besarnya kohesi (C) dan sudut geser tanah (ϕ)

$$\text{Rumus : } K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \quad (2.48)$$

- Perhitungan tekanan tanah aktif

Diperhitungkan di permukaan ada beban merata sebesar 1 t/m. Tekanan tanah horisontal pada dinding tegak menggunakan rumus :

$$P_a = q \cdot h \cdot K_a + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a - 2C\sqrt{K_a} \quad (2.49)$$

Di mana:

P_a = tekanan tanah aktif (ton)

q = beban merata = 1 t/m

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

C = kohesi

γ = berat jenis tanah (t/m^3)

h = tebal lapisan (m)

- Perhitungan tekanan air tanah

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H^2$$

Di mana :

P_w = tekanan air tanah (t/m)

γ_w = berat jenis air tanah = 1 t/m^3

H = tinggi muka air tanah dari dasar dinding (m)

- Perhitungan gaya-gaya vertikal

Adalah akibat berat tanah dan air tanah di atas tapak dinding serta berat dinding sendiri (diperhitungkan per 1 m lebar)

B. Kontrol Stabilitas Struktur

- Terhadap Eksentrisitas

$$e = \frac{1}{2} \cdot B - (\Sigma M_p - \Sigma M_a) / (\Sigma G) ; e \leq \frac{1}{6} B \quad (2.50)$$

Di mana :

ΣM_p = jumlah momen pasif (menahan guling) (tm)

ΣM_a = jumlah momen aktif (penyebab guling) (tm)

B = lebar dasar pondasi (m)

e = eksentrisitas

ΣG = jumlah beban (ton)

- Kontrol Terhadap Geser

$$SF = (\Sigma G \tan \phi + C \cdot B + \Sigma P_{\text{pasif}}) / (\Sigma P) \quad (2.51)$$

$$SF \geq 1,5$$

- Kontrol Terhadap Guling

Syarat : $\Sigma M_p / \Sigma M_a \geq SF$

Di mana : SF diambil 2

Jika dinding menggunakan tiang pancang maka tidak dilakukan pemeriksaan terhadap guling.

- Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah tekanan maksimal yang dapat dipikul oleh tanah tanpa terjadi penurunan (*settlement*).

$$q_{ult} = C.N_c + \gamma.D.N_q + \frac{1}{2}.B.N_\gamma \quad (2.52)$$

Diambil nilai kohesi C , γ dan ϕ pada lapisan tanah di mana dasar dinding terletak. Menurut Krizek, nilai faktor daya dukung N_c , N_q , N_γ dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$N_c = \frac{228 + 4,3\phi}{40 - \phi} \quad ; \quad N_q = \frac{40 + 5\phi}{40 - \phi} \quad ; \quad N_\gamma = \frac{6\phi}{40 - \phi} \quad (2.53)$$

Di mana :

D = kedalaman dinding dari dasar tanah (m)

B = lebar dasar pondasi (m)

γ = berat jenis tanah (t/m^3)

Daya dukung tanah yang diijinkan ditentukan dengan membagi q_{ult} dengan suatu faktor keamanan (SF) yaitu :

$$q_{all} = \frac{q_{ult}}{SF} \text{ (t/m}^2\text{)} ; \text{ dengan SF} = 3 \quad (2.54)$$

- Kontrol Terhadap Gaya Horisontal

Untuk menahan gaya horisontal akibat tekanan aktif tanah, maka ada dua hal yang diperhitungkan yaitu :

- Tahanan geser akibat berat sendiri dinding
- Tekanan tanah pasif dari tiang pancang

Dilakukan pengecekan satu persatu apakah dari komponen tersebut mampu untuk menahan gaya horisontal.

C. Perhitungan Bagian Tapak Dinding (*Toe dan Heel*)

Pembebanan untuk pelat kaki dinding ditinjau pada dua bagian yang nantinya akan digunakan dalam mendesain tulangan, yaitu :

- Bagian Tapak Depan (*Toe*)

Pembebanan pada bagian tapak depan (*toe*) adalah berat konstruksi, reaksi tanah dan berat air di atas bagian *toe*. Rumus yang digunakan :

$$q = \Sigma q_v \text{ (t/m)}$$

$$V = \int q dx \text{ (ton)}$$

$$M = \int V dx \text{ (tm)}$$

- Bagian Tapak Belakang (*Heel*)

Pembebanan pada bagian tapak belakang adalah beban merata di atas tanah, berat konstruksi, reaksi tanah, dan berat air di atasnya. Rumus yang digunakan adalah :

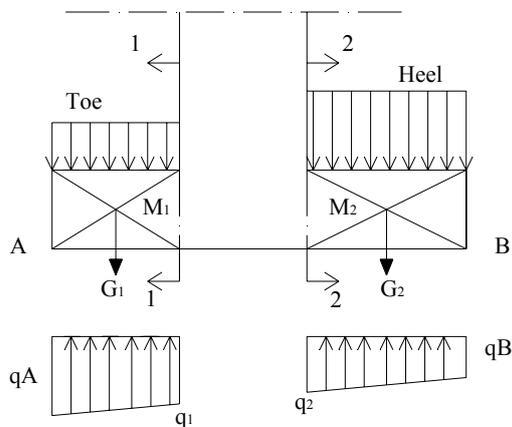
$$q = \Sigma q_v \text{ (t/m)}$$

$$V = \int q dx \text{ (ton)}$$

$$M = \int V dx \text{ (tm)}$$

Dimana :

Σq_v = jumlah gaya (vertikal) yang bekerja pada bagian tapak dinding.



Gambar 2.33 Gaya yang Bekerja pada Bagian Tapak

Langkah perhitungan penulangan pekerjaan beton bertulang untuk lantai saluran dengan berdasarkan perhitungan SKSNI 1991 adalah sebagai berikut :

Tebal tapak (H) = direncanakan, dengan lebar pelat tiap 1 meter.

Dipakai tulangan rencana =.....mm

Selimut beton (d') = 50 mm

$$d = H - d' - \frac{1}{2} \text{Øtulangan rencana.} \quad (2.55)$$

M_u = (dari hasil perhitungan momen)

$$M_n = M_u / \phi = M_u / 0,8 \quad (2.56)$$

$$k = M_n / (b \cdot d^2 \cdot R_1) \text{ dimana } R_1 = \beta_1 \cdot f'_c \quad (2.57)$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2k} \quad (2.58)$$

$$F_{\text{maks}} = \beta_1 \cdot 450 / (600 + f_y) \quad (2.59)$$

Syarat $F < F_{\text{maks}}$ (*under reinforced*)

$$A_s = F \cdot b \cdot d \cdot R_1 / f_y \quad (2.60)$$

$$\rho = A_s / (b \cdot d) \text{ syarat } \rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{maks}} \quad (2.61)$$

$$\rho_{\text{min}} = 1,4 / f_y \quad (2.62)$$

$$\rho_{\text{maks}} = \beta_1 \cdot 450 / (600 + f_y) \cdot (R_1 / f_y) \quad (2.63)$$

$$\text{Luas tulangan bagi} = 20\% \cdot A_s \quad (2.64)$$

Dari tabel tulangan, dapat diketahui jumlah tulangan yang diperlukan.

Keterangan :

d = jarak tepi dari serat teratas sampai pusat tulangan tarik (mm)

d' = jarak tepi dari serat teratas sampai pusat tulangan tekan (mm)

H = tebal tapak (mm)

M_u = momen yang terjadi akibat pembebanan (kg cm)

M_n = momen yang terjadi dibagi faktor nominal 0,8 (kg cm)

f'_c = kuat tekan beton rencana (kg/cm^2)

f_y = kuat leleh tulangan rencana < 400 Mpa (kg/cm^2)

F = bagian penampang beton tertekan

R_1 = tegangan tekan pada penampang beton (kg/mm^2)

ρ = ratio luas penampang tulangan tarik terhadap luas penampang efektif

A_s = luas penampang tulangan yang dibutuhkan (mm^2)

- Check Geser Pons (*Punching Shear*)

$$d = H - d' \text{ (direncanakan)} \quad (2.65)$$

untuk kondisi : $V_u > \$.V_c$

$$V_c = (\sqrt{f'_c} / 6) \cdot b_o \cdot d \quad (2.66)$$

$$A_v = (V_u - \$.V_c) / (\$.f_y \cdot \sin \alpha) \quad (2.67)$$

$$V_s = A_v \cdot f_y \cdot \sin \alpha \text{ (tulangan geser pons berupa tulangan miring)} \quad (2.68)$$

$$V_n = (V_c + V_s) \quad (2.69)$$

Di mana :

V_u = gaya geser yang terjadi akibat pembebanan (kg)

V_n = kuat geser nominal (kg)

V_c = kuat geser beton (kg)

V_s = kuat geser tulangan geser (kg)

b_o = keliling penampang kritis (cm)

ϕ = koefisien reduksi

A_v = luas total penampang tulangan miring (cm²)

- Check Terhadap Pengaruh Geser Lentur

$$\tau = \frac{8.V}{7.b.h} \quad \text{dengan syarat : } \tau \leq \tau_b \quad (2.70)$$

Di mana :

V = gaya normal (kg)

q = tegangan merata pada tapak (t/m)

τ = tegangan geser beban yang terjadi (kg/cm²)

τ_b = tegangan geser ijin beton yang terjadi (kg/cm²)

D. Bagian Dinding Tegak

Perhitungan dinding tegak dilakukan dengan cara membagi dinding menjadi beberapa segmen. hal ini dilakukan untuk menghindari pemborosan dalam penggunaan material, karena bagian-bagian dinding tegak dalam menahan tekanan tanah horizontal dan air tanah tidak sama besar (makin ke bawah makin besar).

Langkah-langkah perhitungannya :

- Menghitung pembebanan pelat dinding tegak.
- Segmen atas dan tengah diasumsikan dengan pelat terjepit di kedua sisinya.
- Segmen bawah diasumsikan pelat terjepit tiga sisi.
- Menghitung momen tumpuan dan momen lapangan yang terjadi.

$$M_{lap} = k_1 \cdot q \cdot l^2 \quad (2.71)$$

$$M_{tump} = k_2 \cdot q \cdot l^2 \quad (2.72)$$

Di mana :

k_1 dan k_2 adalah koefisien yang besarnya tergantung pada perbandingan panjang dan lebar bentang.

- Menghitung tulangan tumpuan dan lapangan (analog dengan perhitungan tulangan pelat tapak)

E. Bagian Perkuatan Belakang (*Counterfort*)

Perkuatan belakang dinding diperhitungkan sebagai balok pengaku dinding tegak dengan tumpuan jepit – bebas.

Cara perhitungan penulangan :

- Menghitung beban yang bekerja. Beban terdiri dari beban merata di atasnya, berat konstruksi, berat tanah, dan berat air.
- Menghitung momen yang terjadi berdasarkan jenis tumpuan dan panjang bentang. Momen yang terjadi merupakan jumlah dari momen tiap-tiap beban dari pusat beban bekerja terhadap titik berat *counterfort*.
- Menghitung jumlah tulangan lentur yang dibutuhkan.

M_u = (dari hasil perhitungan momen) (tm)

$M_n = M_u / \phi = M_u / 0,8$ (tm)

$K = M_n / (b \cdot d^2 \cdot R_1)$ dimana $R_1 = \beta_1 \cdot f_c'$

$F = 1 - \sqrt{1 - 2k}$

$F_{maks} = \beta_1 \cdot 450 / (600 + f_y)$

syarat $F < F_{maks}$ (*under reinforced*)

$A_s = F \cdot b \cdot d \cdot R_1 / f_y$ (mm^2)

$\rho = A_s / (b \cdot d)$ syarat $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$

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

$\rho_{maks} = \beta_1 \cdot (450 / (600 + f_y)) \cdot (R_1 / f_y)$

perhitungan tulangan horizontal : $A_s = \sum H / f_y$ (mm^2) (2.73)

perhitungan tulangan vertikal : $A_s = \sum G / f_y$ (mm^2) (2.74)

F. Gaya Gempa

Gaya gempa merupakan gaya yang bersifat acak dan mengarah ke segala arah. Pada perencanaan struktur gaya gempa dianggap bekerja pada titik berat struktur yang ditinjau. Besarnya gaya gempa dapat dihitung berdasarkan rumus :

$$F = kg \cdot M \quad (2.75)$$

Dimana :

F = Gaya gempa pada suatu bagian stuktur (ton)

kg = Koefisien gempa (dilihat dari gambar wilayah gempa Indonesia)

M = Berat struktur (ton)

Perhitungan gaya gempa pada keadaan normal dilakukan pada bangunan yang direncanakan > 15 m (JICA, *Design of Sabo Facilities*).

2.4.5 Pelat dan Balok Lantai

Pertimbangan digunakan atau tidaknya pelat lantai pada kamar tergantung rembesan yang terjadi. Rembesan yang diperhitungkan adalah rembesan air di bawah tanah yang dapat mengakibatkan penggerusan terhadap lantai. Sedangkan untuk rembesan ke samping tidak diperhitungkan karena bangunan kamar telah menggunakan dinding kedap air (beton).

Perhitungan rembesan ini adalah untuk memeriksa apakah panjang (L_H) konstruksi lantai pada gerbang mencukupi atau tidak dari pengaruh penggerusan dengan berdasarkan teori *Lane* seperti berikut :

$$C = \frac{1/3 L_H + L_V}{H} > \hat{C} \quad (2.76)$$

Di mana :

C = panjang rembesan (m)

L_H = panjang total segmen horizontal (m)

L_V = panjang total segmen vertikal (m)

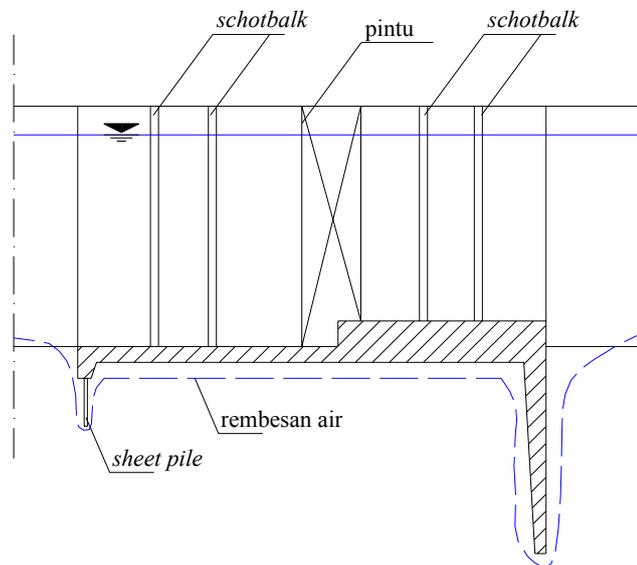
H = beda tinggi air ekstrim (m)

\hat{C} = koefisien Lane, untuk jenis tanah lanau + pasir = 8,5

Maka :

$$L_H = 3.(C.H - L_V)$$

(2.77)



Gambar 2.34 Rembesan Air pada Pintu Air

Apabila tidak terjadi rembesan pada lantai kamar maka tidak diperlukan pelat lantai, tetapi cukup dengan tanah asli. Sedangkan apabila terjadi rembesan maka diperlukan pelat lantai.

Pada perencanaan konstruksi pelat/balok lantai pintu air, ada 2 jenis alternatif yang dapat dipakai sebagai pilihan, yaitu :

- a. Dinding dan lantai merupakan konstruksi yang terpisah
- b. Dinding dan lantai merupakan satu kesatuan konstruksi (monolit)

Direncanakan konstruksi dinding dan lantai menjadi satu kesatuan (monolit) dengan pertimbangan untuk menghindari persambungan yang dapat menjadi penyebab kebocoran.

Yang perlu diperhitungkan pada perencanaan konstruksi pelat dan balok lantai pintu air adalah sebagai berikut :

A. Perhitungan Dimensi Pelat Lantai

Pembebanan diperhitungkan terhadap 2 kondisi :

- Kondisi 1

Perhitungan pelat lantai pada saat kamar kosong air (kondisi ekstrim).

Pada kondisi ini beban yang bekerja pada pelat adalah :

- o Beban akibat berat sendiri pelat.
- o Gaya *Up Lift* akibat tekanan air tanah samping dinding yang diteruskan ke pelat lantai.

• Kondisi 2

Perhitungan pelat lantai pada saat kamar penuh air. Pada keadaan ini beban yang bekerja pada pelat adalah :

- o Beban akibat berat sendiri pelat.
- o Berat air dalam kamar.
- o Gaya *Up Lift* akibat tekanan hidrostatik (*Hydrostatic Pressure*).

Langkah-langkah perhitungan lantai kamar :

- o Menghitung pembebanan pada dua kondisi.
- o Menghitung momen untuk pelat terjepit empat sisi, yaitu momen tumpuan dan lapangan.

$$M_{lap} = k_1 \cdot q \cdot l^2$$

$$M_{tump} = k_2 \cdot q \cdot l^2$$

- o Mencari jumlah tulangan yang dibutuhkan (analog dengan perhitungan tulangan pelat di atas).

B. Perhitungan Dimensi Balok Lantai

Langkah-langkah perhitungan :

- o Menghitung pembebanan, mencari momen maksimum akibat beban.
- o Mencari tulangan dengan melihat peraturan SKSNI 1991.

Dimensi balok, lebar (B) dan tinggi (H) = direncanakan

Dipakai tulangan rencana =mm

Selimut beton (d') = 40 mm

$d = H - d' - \frac{1}{2} \phi$ tulangan.

M_u = (dari hasil perhitungan)

$M_n = M_u / \phi = M_u / 0,8$

$K = M_n / (b \cdot d^2 \cdot R_1)$ dimana $R_1 = \beta_1 \cdot f_c'$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2k}$$

$$F_{maks} = \beta_1 \cdot 450 / (600 + f_y)$$

syarat $F < F_{maks}$ (*under reinforced*)

$$A_s = F \cdot b \cdot d \cdot R_1 / f_y$$

$$\rho = A_s / (b \cdot d) \text{ syarat } \rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$$

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

$$\rho_{maks} = \beta_1 \cdot (450 / (600 + f_y)) \cdot (R_1 / f_y)$$

Luas tulangan bagi = 20% . A_s

Dari tabel tulangan dapat diketahui jumlah tulangan yang diperlukan.

Keterangan:

d = jarak tepi dari serat teratas sampai pusat tulangan tarik (mm)

d' = jarak tepi dari serat teratas sampai pusat tulangan tekan (mm)

H = tebal tapak (mm)

B = lebar balok (mm)

M_u = momen yang terjadi akibat pembebanan (kg cm)

M_n = momen yang terjadi dibagi faktor nominal 0,8 (kg cm)

f_c = kuat tekan beton rencana (kg/cm^2)

f_y = kuat leleh tulangan rencana < 400 Mpa (kg/cm^2)

F = bagian penampang beton tertekan

R_1 = tegangan tekan pada penampang beton (kg/mm^2)

ρ = ratio luas penampang tulangan tarik terhadap luas penampang efektif

A_s = luas penampang tulangan yang dibutuhkan (mm^2)

o Perhitungan tulangan geser pada balok

$$V_n = V_u / 0,6 \quad (2.78)$$

$$V_c = 0,17 \cdot b \cdot d \cdot \sqrt{f_c} \quad (2.79)$$

Jika $V_u < 0,6 \cdot V_c / 2$ (tidak perlu tulangan geser)

Jika $V_u > 0,6 \cdot V_c / 2$ (perlu tulangan geser)

$$\text{Tulangan geser perlu, } A_v = (V_n - V_c) \cdot s / (d \cdot f_y) \quad (2.80)$$

$$\text{Tulangan geser minimum, } A_v = b \cdot s / (3 \cdot f_y) \quad (2.81)$$

Jarak spasi sengkang maksimal, $s < d / 2$

Di mana :

V_u = gaya lintang pada balok akibat beban (kg)

V_n = gaya lintang terfaktor (kg)

V_c = kuat geser yang disumbangkan beton (kg)

A_v = luas tulangan geser (cm^2)

s = spasi antar tulangan geser (mm)

2.5 Konstruksi Pondasi

A. Pondasi Menerus

Perancangan struktur pondasi didasarkan pada momen dan tegangan geser yang terjadi akibat tegangan sentuh antara dasar pondasi dan tanah. Dalam analisis dianggap bahwa pondasi sangat kaku dan tekanan pondasi didistribusikan secara linier pada dasar pondasi. Persamaan umum daya dukung untuk pondasi menerus adalah :

$$q_{ult} = c \cdot N_c + D \cdot \gamma \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma$$

Di mana :

D = kedalaman tanah (m)

B = lebar dasar pondasi (m)

N_c, N_q, N_γ = koefisien daya dukung tanah Terzaghi

γ = berat jenis tanah (t/m^3)

B. Pondasi Tiang

Pondasi tiang pancang digunakan dengan pertimbangan antara lain apabila kondisi tanah dasar jelek (daya dukung tanah kecil) untuk memikul beban konstruksi di atasnya, letak tanah keras jauh dari permukaan tanah, dan untuk stabilitas konstruksi di atas permukaan tanah dari pengaruh gaya angkat (*up lift*).

Namun meskipun pada lokasi rencana pembuatan saluran pintu air mempunyai daya dukung tanah yang baik, untuk keamanan terhadap guling yang cukup besar akan lebih tepat apabila digunakan pondasi tiang pancang yang dapat menjaga stabilitas konstruksi pada daerah ini.

2.6.1 Daya Dukung Tiang Terhadap Kekuatan Tanah (Menahan Beban)

Untuk menghitung daya dukung tanah pada pondasi tiang pancang apabila data yang diambil adalah hasil uji CPT maka digunakan rumus Begemann sebagai berikut :

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{q_c \cdot A}{3} + \frac{f \cdot O}{5} \quad (2.82)$$

Di mana :

Q_{tiang} = daya dukung tiang (ton)

A = luas penampang beton tiang tanpa tulangan (cm^2)

O = keliling tiang (cm)

q_c = nilai konus pada kedalaman tanah keras (kg/cm^2)

f = *total friction* (kg/cm)

3 & 5 = angka keamanan

Sehingga beban yang dapat dipikul tiang pancang (Q) harus memenuhi syarat :

$$Q \leq P_{\text{tiang}} \text{ dan } Q \leq Q_{\text{tiang}}$$

Namun apabila data yang diambil merupakan hasil dari test Sondir maka rumus yang digunakan adalah metode Schmertmann yaitu :

$$\text{Tahanan Friksi} = \text{keliling} \cdot \Sigma (\text{Side Friction} \cdot h \cdot N) \quad (2.83)$$

$$\text{Tahanan ujung} = 1,6 \cdot N \cdot A_b \quad (2.84)$$

$$P_{\text{all}} = \text{Tahanan friksi} + \text{tahanan ujung} \quad (2.85)$$

Di mana :

N = Nilai SPT

h = Selisih Rentang Kedalaman (m)

A_b = Luas Tiang Pancang (cm^2)

2.6.2 Daya Dukung Tiang Terhadap Kekuatan Bahan (Menahan *Uplift*)

$$\text{Rumus : } P_{\text{tiang}} = \tau_b \cdot A_{\text{tiang}} \quad (2.86)$$

Di mana :

τ_b = tegangan tekan karakteristik beton (kg/cm^2)

P_{tiang} = daya dukung ijin tiang pancang (ton)

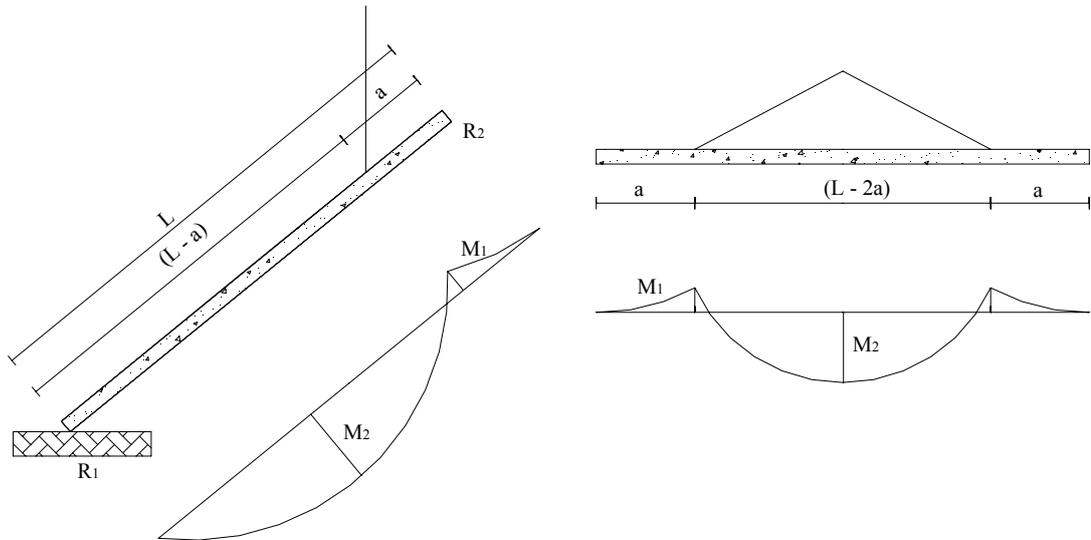
A_{tiang} = $A_b + n \cdot A_s$ (cm^2)

A_b = luas penampang beton tiang (cm^2)

A_s = luas penampang tulangan pokok tiang pancang (cm^2)
 n = angka ekuivalensi

2.6.3 Perhitungan Tulangan Tiang Pancang

Perhitungan tulangan untuk tiang pancang direncanakan berdasarkan momen yang terjadi saat pelaksanaan pemancangan (momen yang terbesar).



Gambar 2.35 Cara Pengangkatan Tiang Pancang

Pengangkatan pada saat pemancangan (kondisi 1)

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 \quad q = \text{beban merata berat tiang (kg/m)} \quad (2.87)$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot (L - a) - \frac{1/2 \cdot q \cdot a^2}{L - a} \quad (2.88)$$

$$M_x = R_1 \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2 \quad (2.89)$$

$$\text{Syarat ekstrim : } \frac{dM_x}{Dx} = 0 \quad R_1 - q_x = 0$$

$$x = \frac{R_1}{q} = \frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2(L - a)} \quad (2.90)$$

$$M_{\text{maks}} = M_2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2(L - a)} \quad (2.91)$$

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

$$2.a^2 - 4.a.L + L^2 = 0 \quad (2.92)$$

$$a = 0,29.L \quad (2.93)$$

$$M_1 = M_2 = \frac{1}{2}.q.(0,29)^2 \quad (2.94)$$

Pada saat pengangkatan dari atas truk (kondisi 2)

$$M_1 = \frac{1}{2} qL^2 \quad q = \text{beban merata berat tiang (kg/m)}$$

$$M_2 = \frac{1}{8}.q.(L - 2a)^2 - \frac{1}{2}.q.a^2 \quad (2.95)$$

$$M_1 = M_2 \quad (2.96)$$

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

$$4.a^2 + 4.a.L - L^2 = 0 \quad (2.97)$$

$$a = 0,209 L \quad (2.98)$$

$$M_1 = M_2 = \frac{1}{2}.q.(0,209)^2 \quad (2.99)$$

Perhitungan tulangan tiang pancang dilakukan menurut SKSNI 1991 :

Menentukan diameter dan panjang tiang serta tulangan rencananya = ...mm

Selimut beton (d') = 50 mm

$$d = \text{Ø}_{\text{tiang pancang}} - d' - \frac{1}{2}.\text{Ø}_{\text{tulangan}} \quad (2.100)$$

Mu = (dari hasil perhitungan)

$$Mn = Mu / \phi = Mu / 0,8$$

$$K = Mn / (b.d^2.R_1) \text{ dimana } R_1 = \beta_1 . fc'$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2k}$$

$$F_{\text{maks}} = \beta_1.450 / (600 + fy)$$

syarat $F < F_{\text{maks}}$ (*under reinforced*)

$$As = F.b.d. R_1 / fy$$

$$\rho = As / (b.d) \text{ syarat } \rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{maks}}$$

$$\rho_{\text{min}} = 1,4 / fy$$

$$\rho_{\text{maks}} = \beta_1.(450 / (600 + fy)).(R_1/fy)$$

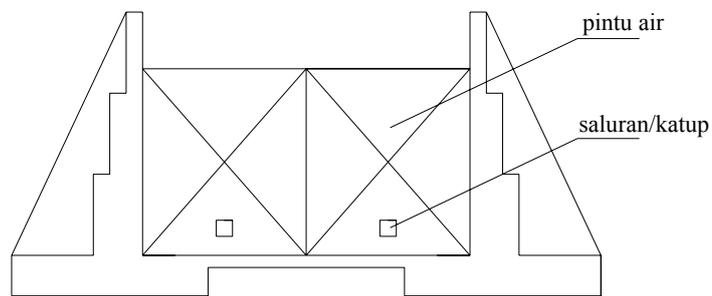
2.6 Pengisian dan Pengosongan Kamar

Pekerjaan pengisian atau pengosongan kamar adalah salah satu komponen dalam pengoperasian pintu air yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan elevasi muka air dalam kamar.

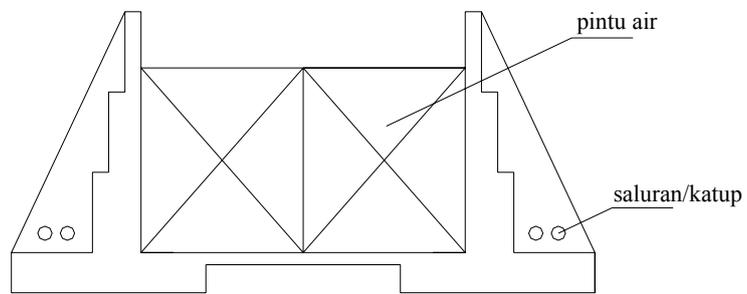
Pekerjaan ini dipengaruhi oleh faktor- faktor :

- Ukuran luas kamar yang akan diisi atau dikosongkan
- Pengoperasian pintu gerbang

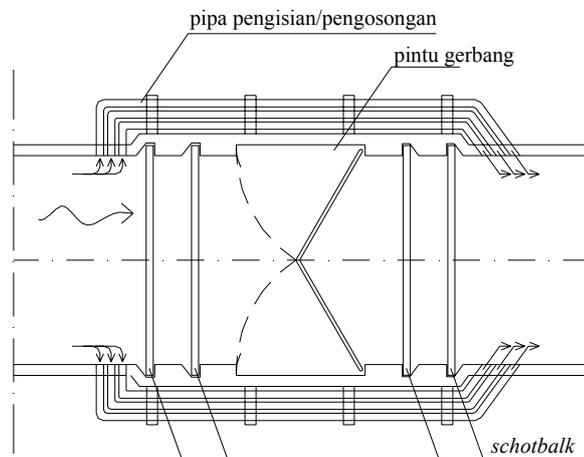
Lubang saluran pengisian atau pengosongan bisa terletak pada pintu gerbang ataupun pada sisi (samping) gerbang.



Gambar 2.36 Saluran Pengisian/Pengosongan yang Terletak pada Pintu



(a)



(b)

Gambar 2.37 Saluran Pengisian/Pengosongan yang Terletak pada Samping Gerbang (a) Tampak Depan; (b) Tampak Atas

Keuntungan terletak di pintu gerbang yaitu mudah dalam hal pembuatannya, akan tetapi harus memperhitungkan perbandingan luasan antara lubang tersebut dengan luasan pintu gerbang. Besar lubang saluran pengisian/pengosongan diperhitungkan terhadap waktu pengisian/pengosongan. Semakin cepat pengisian/pengosongan, maka lubang pengisian/pengosongan akan semakin besar. Hal ini perlu diperhatikan karena pengisian yang cepat akan menimbulkan pancaran air yang besar dan terjadinya efek turbulensi pada kamar sehingga dapat membahayakan kapal yang ada di dalamnya.

Sedangkan apabila lubang/katup pengisian dan pengosongan terletak di sisi (samping) gerbang, maka tidak terpengaruh dengan luasan pintu, akan tetapi pembuatannya lebih sulit jika dibandingkan dengan lubang yang terletak di pintu. Keuntungan lubang pengisian/pengosongan pada dinding adalah tidak terjadi turbulensi yang besar pada kamar karena pancaran air cukup kecil sehingga tidak membahayakan kapal yang ada di dalam kamar.

2.7.1 Waktu Pengisian dan Pengosongan

Waktu pengisian dan pengosongan adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengisi atau mengurangi air pada kamar melalui pipa saluran. Rumus perhitungan waktu tersebut adalah sebagai berikut :

$$T = \frac{2.Fk.\sqrt{h}}{\mu.a.\sqrt{2g}} \quad (2.101)$$

Di mana :

T = waktu pengisian atau pengosongan (detik)

h = beda ketinggian muka air (m)

μ = koefisien pengeluaran melalui dinding gerbang = 0,62

μ = koefisien pengeluaran melalui pintu gerbang = 0,32

F_k = luas saluran keseluruhan = $W \cdot L$ (m^2)

a = luas penampang pipa pengisian atau pengosongan (m^2)

g = percepatan gravitasi (m/dt^2)

Dengan menentukan atau memperkirakan kebutuhan waktu pengisian atau pengosongan kamar (T) yang tergantung dari volume air yang akan dipindahkan, maka akan dapat diketahui diameter pipa saluran (*conduits*) yang dibutuhkan. Waktu minimum yang dibutuhkan untuk pengisian/pengosongan sekitar 5 menit. Waktu pengisian yang terlalu cepat tidak dianjurkan karena dapat menimbulkan efek turbulensi yang besar dalam kamar sehingga dapat membahayakan kapal.

2.7.2 Perhitungan Pelat Pipa Saluran Pengisian dan Pengosongan

Pintu berupa pelat persegi panjang yang bertumpu pada keempat sisinya pada balok vertikal dan horizontal dan ketebalan pipa saluran (*conduits*) yang dibutuhkan.

$$\sigma_{maks} = 1/2.k.P \cdot \frac{a^2.b^2}{(a^2 + b^2)t^2} \quad (2.102)$$

Di mana :

σ = tegangan baja yang diijinkan (kg/cm^2)

k = koefisien kondisi tumpuan: $k= 0,8$ (muatan tetap)

a = lebar pelat (mm)

b = panjang pelat (mm)

P = tekanan air (t/m^2)

T = tebal pelat penutup pintu (mm)

2.7 Perencanaan *Sheet Pile*

Perencanaan *sheet pile* ini berfungsi untuk mempermudah pelaksanaan pekerjaan mengingat pekerjaan tersebut di dalam air sehingga diperlukan pembatas agar tidak masuk ke lokasi pekerjaan. Konstruksi *sheet pile* ini juga

digunakan untuk memperpanjang lintasan vertikal garis rembesan, dan dipakai apabila dengan pertimbangan panjang *sheet pile* tidak terlalu besar serta kemudahan dalam pelaksanaannya. Dalam perencanaan dipilih konstruksi turap baja sebagai *sheet pile*. Pemilihan konstruksi turap baja ini didasarkan pada kemudahan dalam pelaksanaannya. Adapun koefisien yang dipakai untuk perencanaan adalah sebagai berikut :

1. Koefisien Tekanan Tanah

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 (45^\circ - \phi/2) \rightarrow K_a = \text{koefisien tekanan tanah aktif} \\ K_p &= \tan^2 (45^\circ + \phi/2) \rightarrow K_p = \text{koefisien tekanan tanah pasif} \end{aligned} \quad (2.103)$$

2. Tegangan Tanah Aktif

$$\sigma_a = \gamma \cdot K_a \cdot h_1 \quad (2.104)$$

3. Tekanan Tanah Aktif

$$P_{a1} = \sigma_a \cdot h/2 \quad (2.105)$$

4. Tegangan Tanah Pasif

$$\sigma_p = \gamma_{\text{sub2}} \cdot B \cdot (K_p - K_a) \quad (2.106)$$

5. Tekanan Tanah Pasif

$$P_p = \sigma_p \cdot B/2 \quad (2.107)$$

6. Gaya Tekan Angkur

$$\Sigma P_H = \Sigma P_a - \Sigma P_p \quad (2.108)$$

7. Dimensi Turap

$$\sigma_{\text{baja}} = M_{\text{maks}} / W \rightarrow W = M_{\text{maks}} / \sigma_{\text{baja}}$$

8. Dimensi Batang Angkur

$$\sigma = P/F \rightarrow F = P / \sigma \quad (2.109)$$

$$F = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \rightarrow D^2 = 4F/\pi$$

9. Dimensi Gording

$$q = P_{\text{angkur}} / l \quad (2.110)$$

$$M_{\text{maks}} = 1/8 \cdot q \cdot l^2$$

$$W = M_{\text{maks}} / \sigma \rightarrow W = 1/6 \cdot l \cdot t^2$$

Di mana :

σ_a = tegangan tanah aktif (t/m^2)

γ = berat jenis tanah (kg/cm^3)

P_a = tekanan tanah aktif (t/m)

- h = tebal lapisan (m)
- σ_p = tekanan tanah pasif (t/m^2)
- γ_{sub} = berat jenis tanah basah (kg/cm^3)
- P_p = tekanan tanah pasif (t/m)
- σ_{baja} = tegangan tekan baja (kg/cm^2)
- D = diameter angkur (mm)

2.8 Dewatering

Pekerjaan *dewatering* pada pembangunan saluran pintu air ini dimaksudkan untuk mengurangi ketinggian muka air tanah yang terjadi di lokasi pekerjaan selama pekerjaan tersebut berlangsung yang dapat mengganggu jalannya pekerjaan konstruksi dan keamanan pelaksanaan pekerjaan. Pekerjaan *dewatering* dilakukan dengan pompa air bertenaga diesel yang disesuaikan dengan tinggi muka air yang harus dikurangi.

- Langkah Perhitungan

Perhitungan *dewatering* dilakukan hanya untuk menurunkan muka air di sekitar galian dengan memasang sumur-sumur pompa di sekeliling galian untuk memompa air keluar dari tanah, hingga muka air tanah berada di bawah galian. Ketinggian muka air tanah yang diinginkan adalah -1,5 m di bawah galian. Dari jenis tanah yang ada kita bisa mengetahui luas bagian yang terkena pengaruh akibat sebuah sumur pompa dan nilai koefisien permeabilitas tanahnya.

- Perhitungan

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$S = - \frac{Q_o}{2\pi.k.H} \ln (r/R) \quad (2.111)$$

Di mana :

S = *draw down* (m)

Q_o = debit sumur (m^3/dt)

r = jarak titik terhadap sumur (m)

k = koefisien permeabilitas (m/dt)

H = tebal lapisan akuifer (m)

$$R = \text{jari-jari pengaruh (m)} = 3000.S_w.k^{1/2}$$

Dari perhitungan dengan rumus nantinya akan didapat debit sumur dan debit pompa yang dibutuhkan. Setelah debit pompa didapat, dihitung kembali besarnya *draw down* yang terjadi.

2.9 Tempat Parkir, Gudang, dan Kantor Operasi

Berkaitan dengan aktifitas kapal melintasi saluran pintu air, maka sangat mungkin terjadi antrian kapal. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dibuat tempat parkir dengan dilengkapi fasilitas *bolder* atau penambat kapal tanpa *fender*, karena di lokasi tidak terdapat gelombang, angin, atau arus yang besar sehingga tumbukan antara kapal dengan dinding tempat berlabuh (parkir) tidak besar. Direncanakan tempat parkir berada di bagian hulu dan hilir saluran pintu air.

Gudang digunakan untuk menyimpan balok *schotbalk* apabila sedang tidak digunakan, sedangkan kantor dipakai sebagai tempat mengatur dan mengawasi aktifitas di saluran pintu air.

2.10 Bolder

Bolder digunakan untuk menambatkan kapal yang sedang parkir. *Bolder* yang digunakan pada perencanaan ini menggunakan bahan dari beton bertulang. Jarak antar *bolder* tergantung dari kapal yang bersandar.

Tabel 2.2 Jarak Antar Bolder

Bobot Kapal	Jarak Maksimum (m)	Jumlah Minimum
- 2000	10 - 15	4
2000 – 5000	20	6
5001 – 20000	25	6
20001 – 50000	35	8
50001 - 100000	45	8

Sumber : Pelabuhan, Ir. Nirmolo Supriyono

Gaya yang diperhitungkan adalah gaya tarik horizontal kapal (akibat berat kapal, arus dan angin).

Tabel 2.3 Tarikan pada Kapal

Bobot Kapal	Gaya tarik (ton)	
	Bolder	Bilt
200 – 500	15	15
501 – 1000	25	25
1001 – 2000	35	25
2001 – 3000	35	35
3001 – 5000	50	35
5001 – 10000	70	50 (25)
10001 – 15000	100	70 (35)
15001 – 20000	100	70 (35)
20001 – 50000	150	100 (50)
50001 - 100000	200	100 (50)

Sumber : Pelabuhan, Ir. Nirmolo Supriyono

Nilai dalam kurung adalah untuk gaya pada tambatan yang dipasang di sekitar tengah kapal yang mempunyai lebih dari dua pengikat.

Langkah – langkah perhitungan *bolder*

- Menghitung pembebanan, mencari momen maksimum akibat beban.
- Mencari tulangan dengan melihat peraturan SKSNI 1991.

Dimensi, lebar (B) dan tinggi (H) = direncanakan

Dipakai tulangan rencana =mm

Selimut beton (d') = 50 mm

$d = H - d' - \frac{1}{2} \varnothing$ tulangan.

Mu = (dari hasil perhitungan)

$$M_n = M_u / \phi = M_u / 0,8$$

$$K = M_n / (b \cdot d^2 \cdot R_1) \text{ dimana } R_1 = \beta_1 \cdot f_c'$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2k}$$

$$F_{maks} = \beta_1 \cdot 450 / (600 + f_y)$$

$$\text{syarat } F < F_{maks} \text{ (under reinforced)}$$

$$A_s = F \cdot b \cdot d \cdot R_1 / f_y$$

$$\rho = A_s / (b \cdot d) \text{ syarat } \rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$$

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

$$\rho_{maks} = \beta_1 \cdot (450 / (600 + f_y)) \cdot (R_1 / f_y)$$

$$\text{Luas tulangan bagi} = 20\% \cdot A_s$$

Dari tabel tulangan dapat diketahui jumlah tulangan yang diperlukan.

Keterangan:

d = jarak tepi dari serat teratas sampai pusat tulangan tarik (mm)

d' = jarak tepi dari serat teratas sampai pusat tulangan tekan (mm)

H = tebal tapak (mm)

B = lebar balok (mm)

M_u = momen yang terjadi akibat pembebanan (kg cm)

M_n = momen yang terjadi dibagi faktor nominal 0,8 (kg cm)

f_c = kuat tekan beton rencana (kg/cm²)

f_y = kuat leleh tulangan rencana < 400 Mpa (kg/cm²)

F = bagian penampang beton tertekan

R₁ = tegangan tekan pada penampang beton (kg/mm²)

ρ = ratio luas penampang tulangan tarik terhadap luas penampang efektif

A_s = luas penampang tulangan yang dibutuhkan (mm²)

- Perhitungan tulangan geser pada balok

$$V_n = V_u / 0,6$$

$$V_c = 0,17 \cdot b \cdot d \cdot \sqrt{f_c}$$

Jika $V_u < 0,6 \cdot V_c / 2$ (tidak perlu tulangan geser)

Jika $V_u > 0,6 \cdot V_c / 2$ (perlu tulangan geser)

$$\text{Tulangan geser perlu, } A_v = (V_n - V_c) \cdot s / (d \cdot f_y)$$

$$\text{Tulangan geser minimum, } A_v = b \cdot s / (3 \cdot f_y)$$