

## BAB IV

### PEMBAHASAN

#### A. Langkah Penyelesaian

Apabila suatu kaison akan dibangun di suatu tempat, dan parameter tanah sudah diketahui, beban yang bekerja dan dimensi pondasi juga sudah ditentukan, maka analisis dapat dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menentukan pusat rotasi dan jarak antar pusat rotasi dengan *scour line*,
2. Menentukan reaksi dan momen yang terjadi (reaksi tanah, gesekan tanah dengan pondasi, momen terhadap *scour line* dan terhadap dasar pondasi).
3. Kontrol stabilitas eksternal meliputi penggeseran, penggulingan dan keruntuhan kapasitas dukung tanah.
4. Menentukan tebal dinding pondasi, pelat atap ruang kerja (kaison bertekanan) dan pelat dasar.
5. Kontrol stabilitas internal, meliputi stabilitas terhadap tegangan geser dan pecahnya konstruksi.

Jika kaison dibuat di tempat kering (*pre-fabricated*) dan akan dipindahkan ke lokasi yang berada di air sehingga perlu penarikan melalui air, maka selain langkah-langkah di atas juga perlu dianalisis stabilitas terhadap gaya angkat. Adapun langkah-langkah analisisnya adalah sebagai berikut :

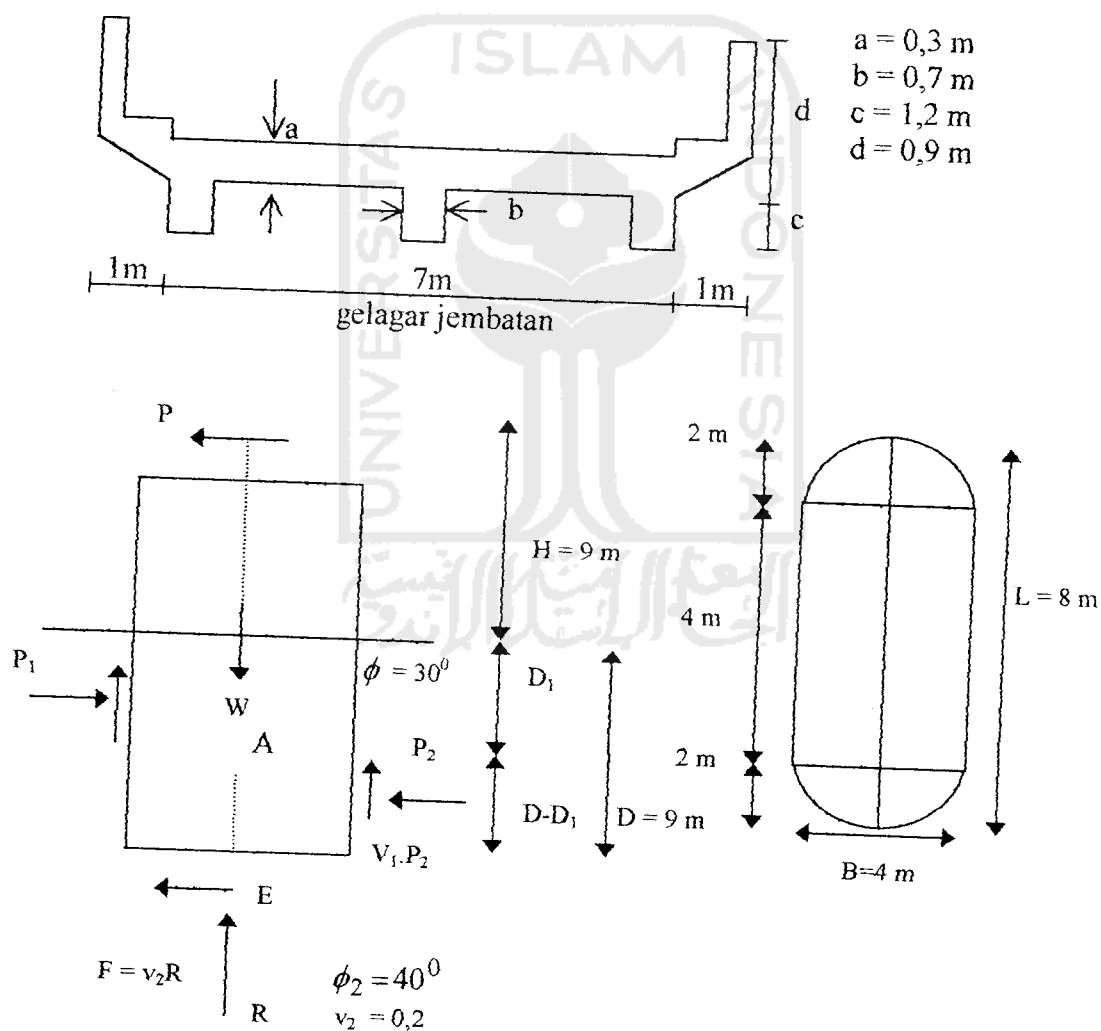
1. Menentukan pusat berat kaison dan jaraknya terhadap dasar kaison
2. Menentukan pusat apung dan jaraknya terhadap dasar kaison
3. Kontrol tinggi bebas

4. Dicari jarak metacentrum (m) sampai  $m > 0$  (kaison terapung stabil), apabila  $m < 0$  kaison diberi pemberat sampai  $m > 0$ .

**B. Contoh Kasus dan Pembahasan**

**Kasus 1**

Suatu pondasi kaison dengan ketentuan seperti gambar 4.1. Bagaimana merencanakan sebuah jembatan dengan menggunakan Pondasi Kaison dengan ketentuan lebar jembatan 9 m dan panjang jembatan 20 m.



**Gambar 4.1** Gaya-gaya yang terjadi pada pondasi dan tampang pondasi.

- Sudut gesek internal tanah ( $\phi_1$ ) =  $30^\circ$
- Berat volume tanah =  $1,78 \text{ ton/m}^3 = 17,8 \text{ kN/m}^3$
- Sudut gesek internal tanah dasar pondasi ( $\phi_2$ ) =  $40^\circ$
- Kuat tekan beton ( $f_c$ ) =  $20 \text{ mPa} = 20000 \text{ kN/m}^2$
- Koefisien gesek antara dasar pondasi dengan tanah ( $v_2$ ) =  $0,2$
- Tanah berpasir
- Bj beton =  $2,42 \text{ T/m}^3$
- Bj aspal =  $2,24 \text{ T/m}^3$

Ditanyakan :

1. Bagaimana menganalisa beban (W) dan D
2. Bagaimana menganalisa pondasi tersebut apabila jenis kaisan sisi terbuka dan tentukan tebal dinding dan plat dasar.
3. Jika pondasi di atas jenis kaisan bertekanan tentukan tebal pelat atap ruang kerja.

Penyelesaian :

A. Analisis beban W

Beban W terdiri dari beban mati + beban hidup.

1) Beban Mati

a) - Berat Pelat	$= 0,3 \cdot 8 \cdot 20 \cdot 2,42$	$= 130,68 \text{ ton}$
- Berat Balok	$= 0,7 \cdot 1,2 \cdot 20 \cdot 2,42 \cdot 3$	$= 121,968 \text{ ton}$
- Berat sandaran	$= 2 \cdot 0,1 \cdot 20 \cdot 2,42$	$= 9,68 \text{ ton}$
- Berat aspal	$= 0,1 \cdot 7 \cdot 20 \cdot 2,24$	$= 33,88 \text{ ton}$
	$\text{Beban total gelagar}$	$= 296,208 \text{ ton}$

$$V_{\text{jembatan}} = \frac{1}{2} \cdot 296,208 = 148,104 \text{ ton}$$

b. Beban abutment (Pilar)

$$= (4,4 + \pi/4 \cdot 4 \cdot 4) \cdot 9,2,42 = 662,175 \text{ ton}$$

2) Beban Hidup

a) Beban trotoar

Menurut PMJJR 1987 muatan harus diperhitungkan terhadap muatan hidup sebesar  $500 \text{ kg/m}^2$  beban yang dihitung pada trotoar sebesar 60%.

$$V_{\text{trotoar}} = 0,5 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 0,6 = 12 \text{ ton.}$$

b) Beban Q

Berdasarkan peraturan muatan jembatan jalan raya tahun 1987 maka di dapat :

- Beban terbagi rata  $P = 2,2 \text{ t/m}$   $L < 30 \text{ m}$
- Beban titik/garis  $P = 12 \text{ t/m}$

$$\text{Koefisien kejut : } k : 1 + \frac{20}{50 + 20} = 1,294$$

Q Terbagi rata

$$Q = \left( \frac{5,5}{2,75} \cdot 20 \cdot 2,2 \right) + 50\% \left( \frac{6 - 5,5}{2,75} \cdot 2,2 \cdot 20 \right)$$

$$= 135,25 \text{ ton}$$

$$\text{Beban garis max} = 12 \cdot 1,294 = 15,528 \text{ ton}$$

Beban titik/garis

$$q = 15,528 \cdot 5,5 / 2,75 = 31,056 \text{ ton}$$

$$\text{Beban Hidup total} = 135,25 \text{ ton} + 31,056 + 12 = 178,306 \text{ ton}$$

Untuk 1 perletakan =  $\frac{1}{2} \cdot 178,306 = 89,153$  ton

Maka Beban W = Beban Mati + beban hidup

$$= 148,104 \text{ ton} + 662,175 + 89,153$$

$$= 899,432 \text{ ton}$$

Dianggap beban W = 1000 ton

B. Untuk beban P terdiri dari

- Beban angin
- Gaya rem dan traksi
- Gaya gempa bumi

1. Beban angin

Berdasarkan PMJJR tahun 1987 beban angin sebesar  $150 \text{ kg/m}^2$  bekerja horizontal pada bidang vertikal jembatan dalam arah tegak lurus terhadap sumbu balok induk jembatan.

Luas bidang vertikal =  $1,5 \times$  jumlah luas sisi jembatan ditambah bidang vertikal setinggi 2m.

- Luas bidang yang kena angin

$$F = 0,5 \cdot 1,5 (2 + 0,1 + 1,3) \cdot 20 = 51 \text{ ton}$$

$$H_{\text{angin}} = p \cdot q = 51 \times 0,15 = 4,204 \text{ ton}$$

2. Gaya rem

$$HR = 5\% \cdot Q_x$$

dimana :

HR = gaya horizontal oleh gaya rem dan traksi

$Q_x$  = beban  $Q$  untuk satu jalur tanpa k kejut.

$$Q_x = q' + Q$$

$$q' = 12 \cdot 5,5/2,75 = 24 \text{ ton}$$

$$Q_x = 24 + 135,25 = 152,25 \text{ ton}$$

$$HR = 5\% \cdot 152,25 = 7,3625 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} VR &= \frac{HR(1,8 + 0,05 + 1,38)}{L} \\ &= \frac{5,92(1,8 + 0,05 + 1,38)}{20} \\ &= 0,9951 \text{ ton} \end{aligned}$$

### 3. Gaya Gempa Bumi

$$K = E \cdot G$$

dimana :

$K$  = Gaya horizontal

$E$  = Koefisien gempa bumi yang ditentukan menurut daftar

$G$  = Muatan mati dari konstruksi

$$G = V_{abt} + V_{jem}$$

$$= 662,175 + 148,104 = 881,55$$

$$K = E \cdot G$$

$$= 0,032 \cdot 881,55 = 20,032 \text{ ton}$$

$$\text{Maka Beban } P = 4,204 + 0,99510 + 20,032$$

$$= 25,03 \text{ ton}$$

$$\text{Jadi muatan } W = 1000 \text{ ton}$$

$$\text{dan } P = 25 \text{ ton} = 250 \text{ kN}$$

2. Analisis pondasi kaisan sisi terbuka, tebal dinding dan tebal pelat dasar.

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{30}{2} \right) = \frac{1}{3},$$

$$K_p = \frac{1}{K_a} = 3,$$

$$v_1 = \tan \phi = \tan 30^\circ = 0,577,$$

$$\text{luas dasar pondasi : } A_p = 4^2 + \frac{\pi}{4} \cdot 4^2 = 28,566 \text{ m}^2$$

$$\text{lebar efektif : } B_o = A_p/L + (28,566)/(8) = 3,571 \text{ m},$$

modulus tampang :

$$S = \frac{1}{6} \cdot 4 \cdot 4^2 + \frac{\pi}{32} \cdot 4^3 = 16,950 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \gamma' &= \gamma_{sat} - \gamma_w \\ &= 17,8 - 9,81 = 7,99 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

- (a) Menentukan dalam pusat rotasi pondasi ( $D_1$ )

Berdasarkan persamaan (3.27) diperoleh

$$0 = X_1 + X_2 \cdot D_1 + X_3 \cdot D_1^2 + X_4 \cdot D_1^3$$

$$X_1 = 62768,978, X_2 = -8961,496, X_3 = -278,404, X_4 = -55,467 \text{ m}$$

dengan cara coba banding, maka nilai  $D_1$  diperoleh 8,79 m, 9 m, -12,77

m pusat rotasi ( $D_1$ ) diambil 8,79 m.

- (b) Menentukan reaksi dan momen yang terjadi.

Berdasarkan persamaan (3.17), (3.18) dan persamaan (3.21) sampai

(3.25) diperoleh :

$$P_1 = \frac{\gamma'(K_p - K_a)}{6} \cdot D_1 \cdot L = \frac{7,99(3-0,333)}{6} \cdot 8,79^2 \cdot 8 = 2142,791 \text{ kN},$$

$$P_2 = \frac{\gamma'(K_p - K_a)}{6} \cdot (2D^3 - D \cdot D_1 + D_1^2) \cdot L$$

$$P_2 = \frac{7,99(3-0,333)}{3} \cdot (2 \cdot 9^3 - 9 \cdot 8,79 + 8,79^2) = 156,025 \text{ kN}.$$

$$R = W - v_1(P_1 + P_2) = 10000 - 0,577(2142,791 + 156,025) = 8673,583 \text{ kN}$$

$$F = v_2 \cdot R = 0,2 \cdot 8673,583 = 1734,717 \text{ kN},$$

$$M_{E2} = \frac{\gamma(K_p - K_a)}{12} \cdot (-D^3 + D \cdot D_1^2) \cdot L$$

$$M_{E1} = 9867,553 \text{ kNm},$$

$$M_{E2} = \frac{\gamma(K_p - K_a)}{12} \cdot (D^3 - D^2 \cdot D_1 - D \cdot D_1^2 + D_1^3) \cdot L$$

$$M_{E3} = \frac{7,99(3-0,333)}{12} \cdot (9^3 - 9^2 \cdot 8,79 - 9 \cdot 8,79^2 + 8,79^3) \cdot 8 = 10,879 \text{ kNm},$$

$$M_3 = P(H+D) - M_{E1} + M_{E2} - \frac{B}{2} \cdot v_1(P_1 - P_2)$$

$$M_3 = 250(9+9) - 9867,553 + 10,879 - \frac{3,571}{2} \cdot 0,577(2142,791 - 156,025)$$

$$M_3 = -7403,507 \text{ kNm}.$$

(c) Kontrol stabilitas eksternal

1) Kontrol stabilitas geser

Berdasarkan persamaan (3.29) diperoleh :

$$\frac{\sum F_{lawan}}{\sum F_{geser}} \geq SF = 1,5$$

$$\frac{P_1 + P_2 + F}{P} = \frac{2142,791 + 156,025 + 1734,717}{250} = 16,134 > 1,5$$



## 2) Kontrol stabilitas guling

Berdasarkan persamaan (3.28) diperoleh :

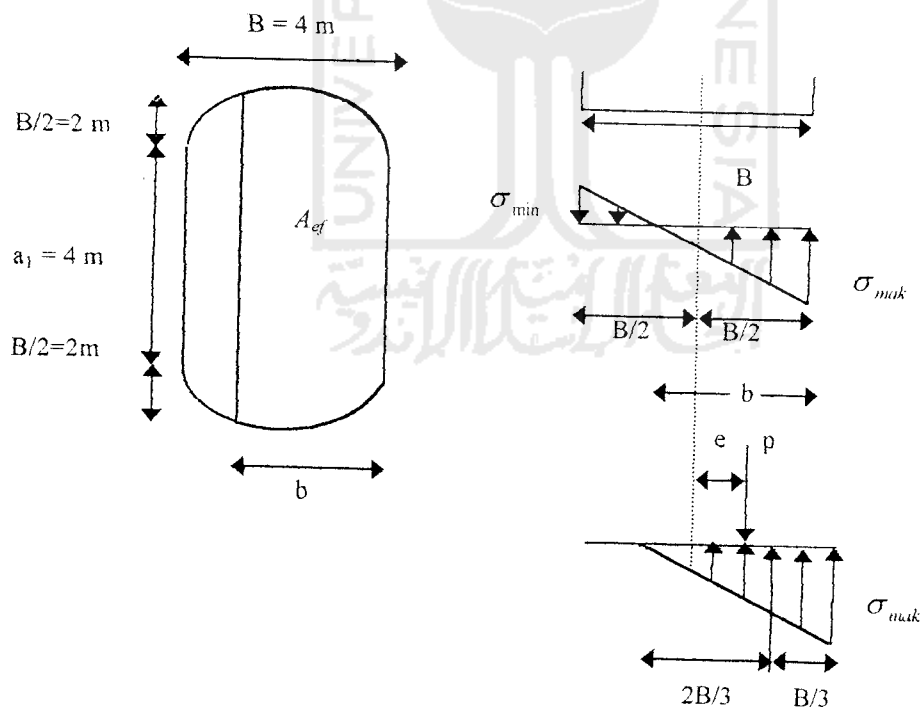
$$\frac{\sum M_{\text{perlawanan}}}{\sum M_{\text{guling}}} \geq SF = 1,5$$

$$\frac{-M_{E1} + M_{E2} + \frac{B}{2} \cdot v_1 \cdot (P_1 - P_2)}{P \cdot (H + D)} = \frac{11903,597}{4500} = 2,645 > 1,5$$

## 3) Kontrol terhadap kapasitas dukung pondasi

$$\text{Eksentrisitas } e = \frac{M}{R} = \frac{7403,507}{8673,583} = 0,854 \text{ m} > \frac{L}{6} = \frac{4}{6} = 0,667 \text{ m}$$

Karena eksentrisitas berada di luar inti ( $e > L/6$ ), maka ada sebagian tanah yang mengalami tarik. Secara teoritis tanah tidak dapat menahan tarik, sehingga tekanan tanah tarik diabaikan.



Gambar 4.2 Diagram tekanan tanah dan luas efektif pondasi.

Menentukan luas efektif ( $A_{ef}$ ) dan tegangan maksimal ( $\sigma_{mak}$ )

Berdasarkan persamaan (C.1) pada lampiran 3, lebar efektif ( $b$ ) dapat ditentukan :

$$b = 3 \left( \frac{B}{2} - e \right) = 3 \left( \frac{4}{2} - 0,854 \right) = 3,438 m > \frac{B}{2} = 2 m$$

Luas efektif ( $A_{ef}$ ) dapat ditentukan berdasarkan persamaan (C.2) pada lampiran 3 :

$$A_{ef} = 3a_1 \left( \frac{B}{2} - e \right) + \left( 1 - \frac{\arccos \frac{2B-2e}{B}}{180} \right) \frac{\pi}{4} B^2 + [B-3e] \sqrt{3e(2B-3e) - \frac{3}{4} B^2}$$

$$A_{ef} = 25,239 \text{ m}^2$$

Tegangan maksimal ( $\sigma_{mak}$ ) dapat ditentuka berdasarkan persamaan (C.6)

$$\sigma_{mak} = \frac{2R}{A_{ef}} = \frac{2.8673,583}{25,239} = 687,324 \text{ kN/m}^2.$$

Menentukan kuat dukung tanah :

$$q = \gamma_{sat} \cdot D = 17,8.9 = 160,2 \text{ kN/m}^2,$$

$\phi = 40^\circ$ , pondasi diasumsi berbentuk persegi,

$$\sigma_{netto} = \alpha.c.N'_c + q(N'_q - 1) + \beta.\gamma.\beta_o.N'\gamma.$$

menurut Terzaghi:

$$\alpha = 1,3, \beta = 0,4, N'_c = 34,9, N'_q = 20,5, N'\gamma = 18,8$$

$$\sigma_{netto} = 1,3.0.34,9 + 7,8.9(20,5-1) + 0,4.7,8.3,571.18,8 = 1630,726 \text{ kN/m}^2$$

Kontrol kapasitas dukung pondasi :

$$Q = Q_p + Q_s \geq W$$

$$\left[ \frac{\sigma_{netto}}{SF} + \gamma \cdot D_1 \right] A_{pef} + \left[ \frac{v_1 (P_1 + P_2)}{SF} \right] \geq W \Rightarrow SF = 2$$

$$Q = \left( \frac{1630,726}{2} + 160,2 \right) 25,239 + \left[ \frac{0,577(2142,791 + 156,025)}{2} \right]$$

$$Q = 25285,443 \text{ kN} > W = 10000 \text{ kN}$$

(d) Tebal dinding pondasi

Dinding pondasi diasumsikan dapat turun selama pelaksanaan struktur tanpa pemberat.

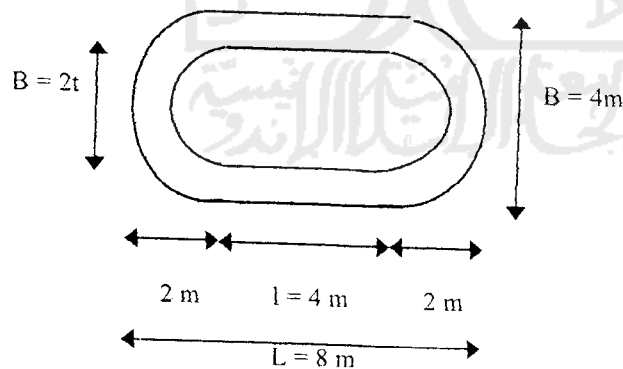
$$W_{dinding} > v_1 (P_1 + P_2) = 0,577 (2142,791 + 156,025) = 1326,417 \text{ kN}$$

Berdasarkan persamaan (3.53.f) diperoleh :

$$-t + \left( B + \frac{2 \cdot l}{\pi} \right) t - \frac{v_1 (P_1 + P_2)}{\pi \cdot D_f \cdot \gamma_c} > 0$$

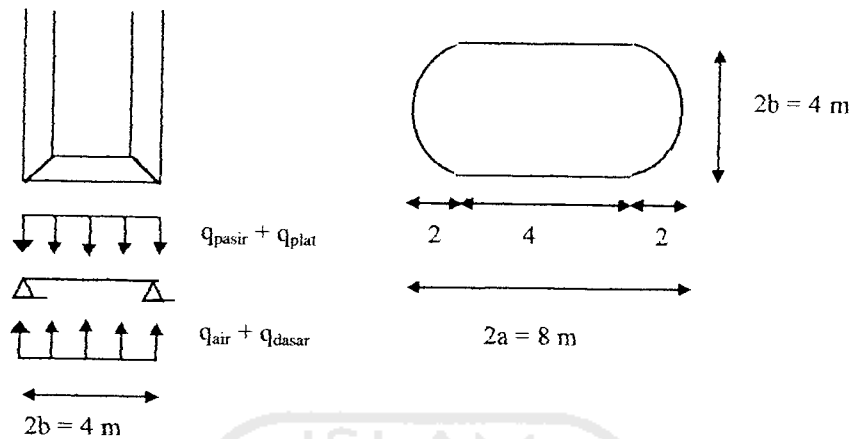
$$-t^2 + 6,546t - 1,955 > 0$$

$$t_1 = 0,314 \text{ m}, t_2 = 6,23 \text{ m}, t \text{ diambil } 0,4 \text{ m}$$



Gambar 4.3 Tampang kaisan ellips.

## (e) Pelat Dasar



**Gambar 4.4 Tekanan pada pelat ukur dasar kaisan dan tampang kaisan bulat telur.**

Tebal pelat diasumsi 1 m, berat volume pasir ( $\gamma_{pasir}$ ) = 18 kN/m<sup>3</sup>

$$q = q_{air} + q_{dasar} - q_{pasir} - q_{plat}$$

$$q = \gamma_w \cdot D_w + R/A - \gamma_p \cdot (9-1) - \gamma_c \cdot (1)$$

$$q = 10.9 + 8673,583/28,566 - 18.8 - 24 \cdot 1 = 225,633 \text{ kN/m}^2$$

Berdasarkan persamaan (3.51.c) diperoleh :

$$i^2 = \frac{4 \cdot q}{f_c} \cdot \frac{a^4 b^4}{(3a^4 + 2a^2 b^2 + 3b^4)} \left( \frac{3}{b^2} + \frac{\mu}{a^2} \right)$$

dengan :

$$q = 225,633 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu = 0,15$$

$$a = 4 \text{ m}$$

$$b = 2 \text{ m}$$

$$f_c = 0,1 f'_c$$

$$f_c = 30 \text{ Mpa} = 30000 \text{ kN/m}^2$$

$$t = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{0,1 f'_c} \cdot \frac{a^4 b^4}{(3a^4 + 2a^2 b^2 + 3b^4)} \left( \frac{3}{b^2} + \frac{\mu}{a^2} \right)}$$

$$t = \sqrt{\frac{4 \cdot 225,633}{0,1 \cdot 30000} \cdot \frac{4^2 \cdot 2^2}{(3 \cdot 4^2 + 2 \cdot 4^2 \cdot 2^2 + 3 \cdot 2^4)} \left( \frac{3}{2^2} + \frac{0,15}{4^2} \right)} = 0,996 \text{ m diambil } 1 \text{ m}$$

Kontrol berat kaison terhadap tekanan air ke atas

Berat air < berat kaison + berat dasar + perlawanan gesek,

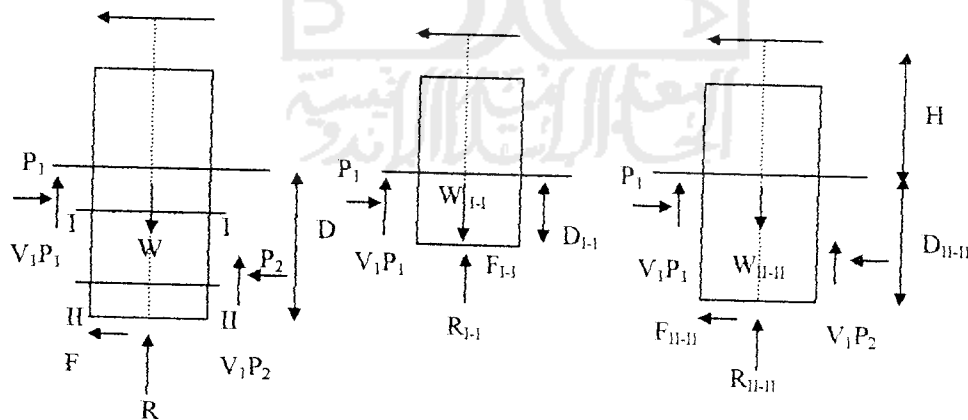
$$q \cdot A_p < \left[ \frac{\pi}{4} (4^2 - 2,8^2) + 2,0 \cdot 6,4 \right] D \cdot \gamma_c + \frac{\pi}{4} \cdot 2,8^2 \cdot \gamma_c \cdot 0,7 + v_1 (P_1 + P_2),$$

$$90.28,566 < 11,209 \cdot 9.24 + 0,25 \cdot \pi \cdot 2,8^2 \cdot 24.1 + 0,577 (2142,791 + 156,025),$$

$$2570,94 \text{ kN} < 3895,341 \text{ kN}$$

(f) Kontrol stabilitas internal

f.1) Dinding kaison



Gambar 4.5 Gaya-gaya yang terjadi akibat potongan I – I dan potongan II – II.

(a) Kontrol terhadap pecahnya struktur (lihat tabel 4.1)

Berdasarkan persamaan (3.38) dan (3.37) diperoleh :

$$\sigma = \frac{R}{A} \pm \frac{M}{S} \leq \bar{\sigma}$$

$$\bar{\sigma}_{tarik} = 0,1 f'_c = 0,1 \cdot 30000 = 3000 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\bar{\sigma}_{desak} = 0,45 f'_c = 0,45 \cdot 30000 = 13500 \text{ kN} / \text{m}^2$$

(b) Kontrol terhadap geser

Berdasarkan persamaan (3.39) diperoleh :

$$\tau_{maks} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{A_p} \leq \bar{\tau} \Rightarrow \bar{\tau} = \sqrt{f'_c} / 11$$

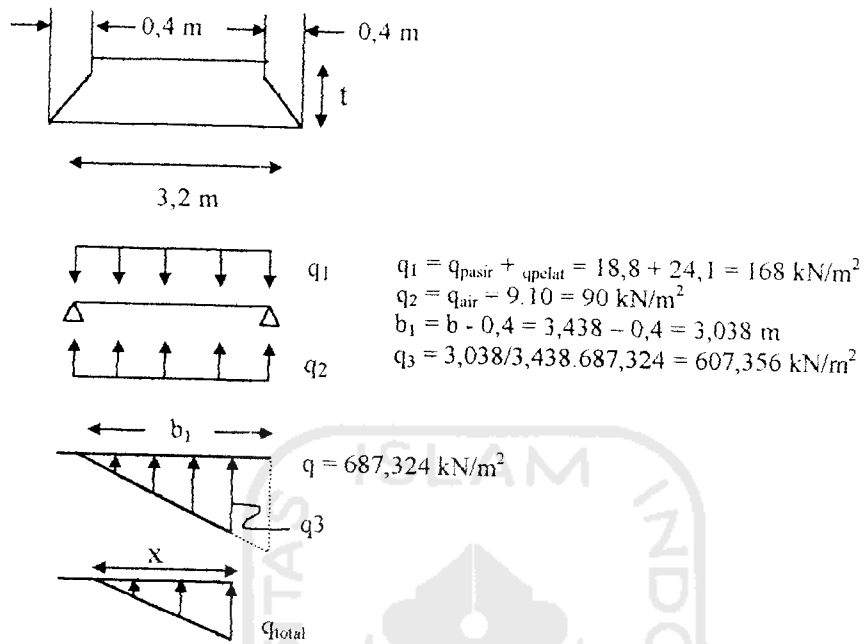
$$\bar{\tau} = \sqrt{f'_c} / 11 \text{ (MPa)} = \sqrt{30} / 11 = 0,498 \text{ MPa} = 498 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\tau_{maks} = \frac{3}{2} \cdot \frac{250}{11,209} = 33,455 \text{ kN} / \text{m}^2 < 498 \text{ kN} / \text{m}^2$$

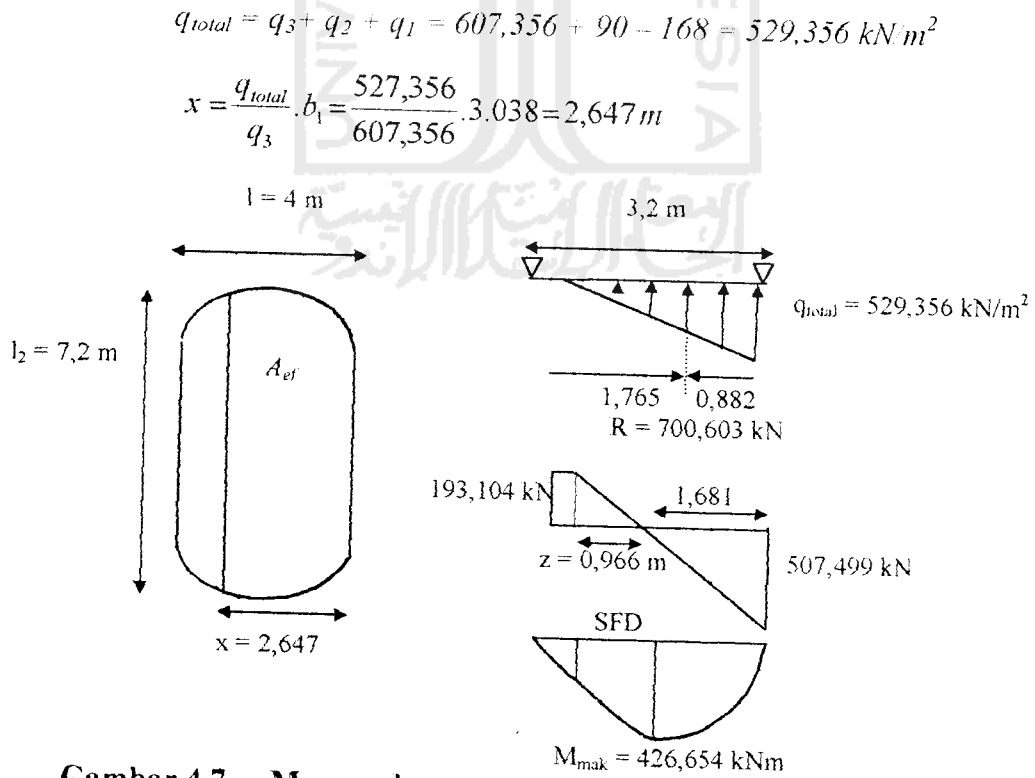
Tabel 4.1 Tegangan yang terjadi pada tiap-tiap potongan kaisan

DI-I (m)	RI-I (kN)	M <sub>F</sub> (kNm)	S <sub>d</sub> (m <sup>3</sup> )	A <sub>d</sub> (m <sup>2</sup> )	Mak KN/m <sup>2</sup>	Min KN/m <sup>2</sup>
0	7994,667	2250	9,568	11,209	948,444	478,078
1	8217,482	2141,167	9,568	11,209	956,899	509,330
3	8663,112	965,690	9,568	11,209	873,800	671,942
4,5	8997,333	322,442	9,568	11,209	838,388	168,988
6	9331,556	-1957,909	9,568	11,209	1037,137	627,875
8,79	9953,209	-7500,405	9,568	11,209	1671,871	104,061
DII-II (m)	RII-II (kN)	M <sub>F</sub> (kNm)	S <sub>d</sub> (m <sup>3</sup> )	A <sub>d</sub> (m <sup>2</sup> )	Max KN/m <sup>2</sup>	Min KN/m <sup>2</sup>
9	10000	-7403,507	9,568	11,209	1665,918	118,362

f.2) Pelat dasar



Gambar 4.6 Tekanan pada pelat dasar kaison



Gambar 4.7. Momen dan gaya geser pada pelat dasar berdasarkan pendekatan.

Analisis dilakukan dengan pendekatan, yaitu pelat diambil selebar 1 m.

$$R_A = 700,603 \cdot \frac{0,882}{3,2} = 193,104 \text{ kN}$$

$$R_B = 700,603 \cdot \frac{3,2 - 0,882}{3,2} = 507,499 \text{ kN}$$

$$z = 2,647 \cdot \frac{193,104}{529,356} = 0,966 \text{ m}$$

$$M_{mak} = 0,5 \cdot 507,499 \cdot 1,681 = 426,654 \text{ kNm}$$

(a) Kontrol terhadap pecahnya struktur

$$\bar{\sigma} = 0,45 \cdot f'_c = 0,45 \cdot 30000 = 13500 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = \frac{6 \cdot M_{mak}}{(1) \cdot l} = \frac{6 \cdot 426,654}{(1) \cdot 1^2} = 2559,654 \text{ kN/m}^2 < \bar{\sigma}$$

(b) Kontrol terhadap geser

Tegangan geser ijin diambil pada pelat satu arah ( $l_2/l_1 > 2$ )

$$\bar{\tau} = \sqrt{f'_c} / 11 (\text{MPa}) = \sqrt{30} / 11 = 0,497930 \text{ MPa} = 497,930 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{mak}}{(1) \cdot l} = \frac{3}{2} \cdot \frac{507,499}{(1) \cdot 1} = 761,249 \text{ kN/m}^2 > \bar{\tau}$$

Jadi tebal pelat ditambah :

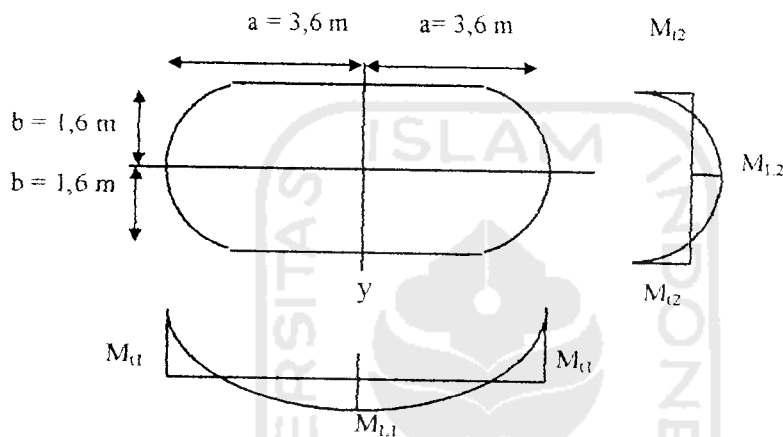
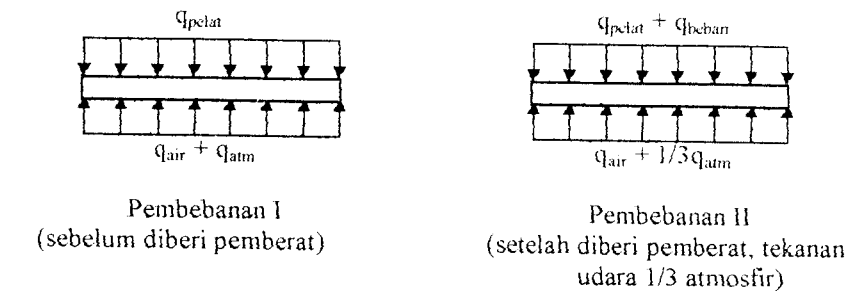
$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{mak}}{(1) \cdot l} = \frac{3}{2} \cdot \frac{507,499}{(1) \cdot 497,930} = 1,529 \text{ m,}$$

diambil  $t = 1,6 \text{ m}$

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{mak}}{(1) \cdot l} = \frac{3}{2} \cdot \frac{507,499}{(1) \cdot (1,6)} = 475,780 < \bar{\tau}$$



4. Tebal pelat atap ruang kerja jika jenis pondasi kaisan bertekanan,



**Gambar 4.8** Pembebanan pelat atap yang diperhitungkan.

Tebal pelat diasumsi 0,5 m dan selama pelaksanaan struktur, kaisan turun tanpa pemberat.

$$q_1 = |q_{pelat} - q_{air} - q_{atm}| = |0,5 \cdot \gamma_c - D \cdot \gamma_w - 10| = |0,5 \cdot 24 - 9 \cdot 10 - 10|$$

$$q_1 = 179 \text{ kN/m}^2,$$

$$q_2 = |q_{pelat} + q_{beban} - q_{air} - 1/3 \cdot q_{atm}| = |0,5 \cdot \gamma_c + 0 - D \cdot \gamma_w - 1/3 \cdot 10|$$

$$q_2 = |0,524 + 0 - 9 \cdot 10 - 1/3 \cdot 10| = 111,667 \text{ kN/m}^2$$

$$q \text{ diambil} = q_1 = 179 \text{ kN/m}^2$$

Berdasarkan persamaan (3.48.c) sampai (3.48.f) diperoleh momen maksimal tiap meter panjang :

$$M_{L1} = \frac{q}{2} \left( \frac{1}{a^2} + \frac{\mu}{b^2} \right) \frac{a^4 b^4}{3a^4 + 2a^2 b^2 + 3b^4}$$

$$M_{L1} = \frac{179}{2} \left( \frac{1}{3,6^2} + \frac{0,15}{1,6^2} \right) \frac{3,6^4 \cdot 1,6^4}{3 \cdot 3,6^4 + 2 \cdot 3,6^2 \cdot 1,6^2 + 3 \cdot 1,6^4} = 22,672 \text{ kNm/m}$$

$$M_{L2} = \frac{q}{2} \left( \frac{\mu}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \frac{a^4 b^4}{3a^4 + 2a^2 b^2 + 3b^4}$$

$$M_{L2} = \frac{179}{2} \left( \frac{0,15}{3,6^2} + \frac{1}{1,6^2} \right) \frac{3,6^4 \cdot 1,6^4}{3 \cdot 3,6^4 + 2 \cdot 3,6^2 \cdot 1,6^2 + 3 \cdot 1,6^4} = 67,170 \text{ kNm/m}$$

$$M_{11} = \frac{q}{a^2} \cdot \frac{a^4 b^4}{3a^4 + 2a^2 b^2 + 3b^4} = \frac{179}{3,6^2} \cdot \frac{3,6^4 \cdot 1,6^4}{3 \cdot 3,6^4 + 2 \cdot 3,6^2 \cdot 1,6^2 + 3 \cdot 1,6^4}$$

$$M_{11} = 25,773 \text{ kNm/m}$$

$$M_{12} = \frac{q}{b^2} \cdot \frac{a^4 b^4}{3a^4 + 2a^2 b^2 + 3b^4} = \frac{179}{1,6^2} \cdot \frac{3,6^4 \cdot 1,6^4}{3 \cdot 3,6^4 + 2 \cdot 3,6^2 \cdot 1,6^2 + 3 \cdot 1,6^4}$$

$$M_{12} = 130,464 \text{ kNm/m}$$

Momen yang terjadi :

$$M_{L1} = M_{L1} \cdot 2b = 22,672 \cdot 3,2 = 72,5504 \text{ kNm},$$

$$M_{L2} = M_{L2} \cdot 2a = 67,170 \cdot 7,2 = 483,624 \text{ kNm},$$

$$M_{11} = M_{11} \cdot 2b = 25,773 \cdot 3,2 = 82,474 \text{ kNm},$$

$$M_{12} = M_{12} \cdot 2a = 130,464 \cdot 7,2 = 939,341 \text{ kNm},$$

Berdasarkan persamaan (3.50) diperoleh :

$$t = \sqrt{\frac{6M}{l \cdot \sigma}}$$

$$\text{searah sumbu x diperoleh } t = \sqrt{\frac{6 \cdot 82,474}{3,6 \cdot 0,45 \cdot 30000}} = 0,101 \text{ m},$$

$$\text{searah sumbu y diperoleh } t = \sqrt{\frac{6 \cdot 939,341}{7,2 \cdot 0,45 \cdot 30000}} = 0,241 \text{ m}$$

diambil  $t = 0,25 \text{ m}$

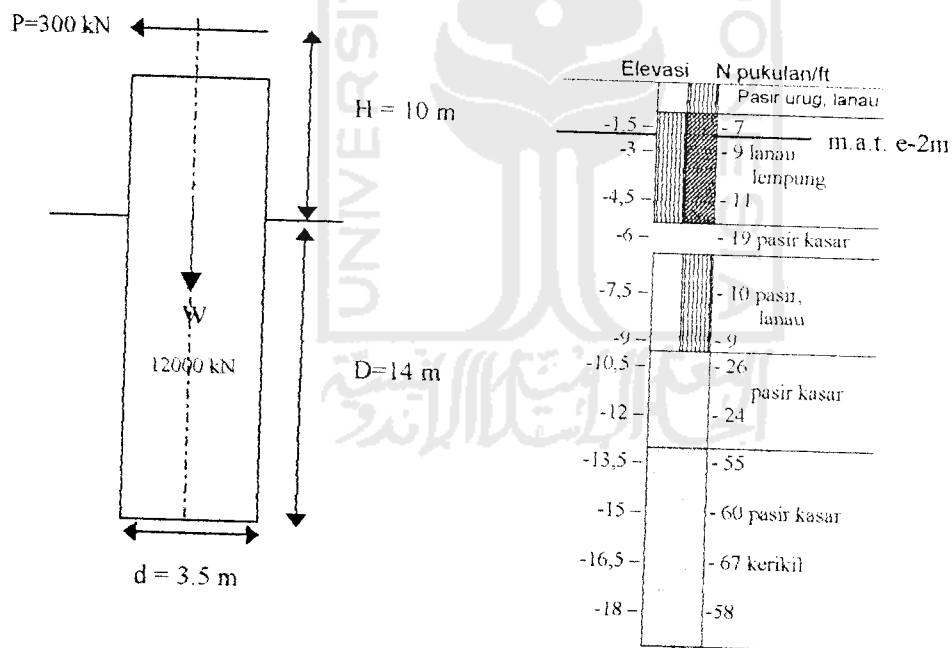
## Kasus 2

Pondasi sisi terbuka berbentuk lingkaran dengan diameter 3,5 m dibuat pada tanah non kohesif dengan berdasarkan seperti tabel 4.2 dan gambar 4.9.

Beban-beban yang bekerja :

- beban horisontal ( $P$ ) = 300 kN di atas muka tanah,
- berat struktur yang ditumpu pondasi dan berat pondasi ( $W$ ) = 12000 kN,

Muka air tanah berada pada kedalaman 2 m dari muka tanah. Dalam pondasi 14 m dari muka tanah.



Gambar 4.9 Letak kaison sisi terbuka dan hasil uji SPT.

Tabel 4.2 Hasil Uji SPT

z(m)	1,5	3	4,5	6	7,5	9,0
N	7	9	11	17	10	9

z(m)	10,5	12	13,5	15	16,5	8
N	26	24	55	60	67	58

Dengan z : dalam tanah (m),

N : jumlah pukulan per ft.

Ditanyakan :

Analisis pondasi tersebut, tebal dinding sisi dan pelat dasar.

Penyelesaian :

Analisis diasumsi muka air tanah setinggi muka tanah

$$\bar{N} = \frac{\sum N}{n} = \frac{7+9+11+19+10+9+26+24+56}{9} = \frac{171}{9} = 19.$$

Berdasarkan gambar 3.2 untuk  $N = 19$  diperoleh  $\phi = 31,5^\circ$  dan  $\gamma_{\text{sat}}$  diambil  $18 \text{ kN/m}^3$ .

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 18 - 10 = 8 \text{ kN/m}^3,$$

$$K_a = \tan^2 \left[ 45^\circ - \frac{31,5^\circ}{2} \right] = 0,3210$$

$$K_p = 1/K_a = 1/0,3210 = 3,1153,$$

$$A_s = \pi \cdot d \cdot D = \pi \cdot 3,5 \cdot 14 = 153,938 \text{ m}^2,$$

$$B_o = A_p/L = 9,621/3,5 = 2,749 \text{ m},$$

$$S = \pi/32 \cdot d^3 = \pi/32 \cdot 3,5^3 = 4,209 \text{ m}^3$$

$$F = A_s \cdot f = 0,25 \cdot \pi \cdot 3,5^2 \cdot 55 = 529,162 \text{ kN}.$$

Berdasarkan Tabel 3,3 untuk tanah yang mempunyai tipe kerikil dan pasir nilai gesekan tanah ( $f$ ) bisa diambil  $5,5 \text{ t/m}^2 = 55 \text{ kN/m}^2$ .

$$A = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0,25 \cdot \pi \cdot 3,5^2 = 9,621 \text{ m}^2.$$

Berdasarkan gambar 3,2 untuk  $N = 55$  (pada dasar pondasi) diperoleh  $\phi = 42,5^\circ$ ,

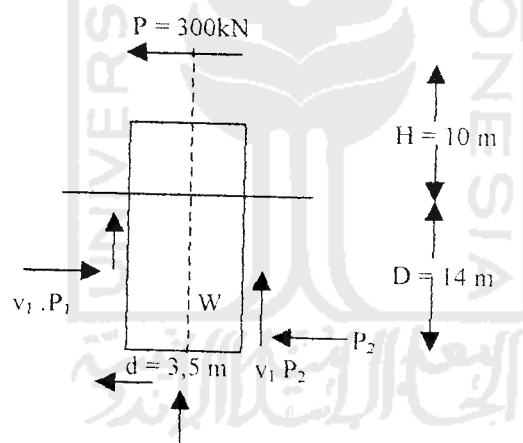
$$N_q = 110, N_\gamma = 133.$$

$$\sigma_{\text{netto}} = 1,2 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot (N_q \cdot 1) + 0,3 \cdot \gamma \cdot D \cdot N_\gamma \text{ (pondasi lingkaran).}$$

$$\sigma_{\text{netto}} = 0 + 8 \cdot 14(110 \cdot 1) + 0,3 \cdot 8 \cdot 14 \cdot 133 = 12766,6 \text{ kN/m}^2,$$

$$v_2 = \tan 2/3 \cdot \phi = 0,384,$$

$$L = d = 3,5 \text{ m.}$$



**Gambar 4.10 Reaksi yang terjadi pada kaisan.**

(a) Menentukan pusat rotasi

Berdasarkan persamaan (3.27) dan lampiran 1 diperoleh :

$$0 = X_1 + X_2 \cdot D_1 + X_3 \cdot D_1^2 + X_4 \cdot D_1^3$$

$$X_1 = 85213,324, X_2 = -8715,418, X_3 = -187,768, X_4 = 26,824.$$

Jarak pusat rotasi ( $D_1$ ) diperoleh 14 m, 11,965 m, atau -18,965 m,  $D_1$  diambil

$$11,965 \text{ m} \approx 11,97 \text{ m.}$$

(b) Menentukan reaksi dan momen-momen yang terjadi

Berdasarkan persamaan (3.17), (3.18), dan persamaan (3.21) sampai (3.25)

diperoleh :

$$P_1 = \frac{\gamma^1 (K_\rho - K_\alpha)}{6} D^2 \cdot L = \frac{8(3,188 - 0,314)}{6} 11,97^2 \cdot 3,5 = 1921,683 \text{ kN},$$

$$P_2 = \frac{\gamma^1 (K_\rho - K_\alpha)}{6} (2D^2 - DD_1 - D_1^2) L$$

$$P_2 = \frac{8(3,188 - 0,314)}{6} (2 \cdot 14^2 - 14 \cdot 11,97 - 11,97^2) 3,5 = 1088,238 \text{ kN}$$

$$R = W - v_1 (P_1 + P_2) = 12.000 - 0,384 (1921,683 + 1088,238) = 10844,190 \text{ kN}$$

$$M_{E1} = \frac{\gamma^1 (K_\rho - K_\alpha)}{12} (-D_1^3 + 2DD_1^2) L$$

$$M_{E1} = \frac{8(3,188 - 0,314)}{12} (-11,97 + 214 \cdot 11,97^2) 3,5 = 15402,293 \text{ kNm}$$

$$M_{E2} = \frac{\gamma^1 (K_\rho - K_\alpha)}{12} (D^3 - D^2 D_1 - DD_1^2 + D_1^3) L$$

$$M_{E2} = \frac{8(3,188 - 0,314)}{12} (14^3 - 14^2 \cdot 11,97 - 14 \cdot 11,97^2 + 11,97^3) 3,5$$

$$M_{E2} = 77,675 \text{ kNm},$$

$$M_3 = P(H+D) - M_{E1} + M_{E2} - B_0/2 \cdot v_1 (P_1 - P_2) L$$

$$M_3 = 300(10+140 \cdot 15402,293 + 77,675 - 2,749/2 \cdot 0,384 (1921,683 - 1088,238)) = -7924,517 \text{ kNm}.$$

(c) Kontrol stabilitas eksternal

1) Kontrol stabilitas geser

Berdasarkan persamaan (3.29) diperoleh :

$$\frac{\sum M_{lawan}}{\sum M_{dorong}} \geq SF \Rightarrow SF = 1,5$$

$$\frac{P_1 + P_2 + F}{P} = \frac{1921,683 + 1088,238 + 529,162}{300} = 11,797 > 1,5$$

## 2) Kontrol stabilitas guling

Berdasarkan persamaan (3.28) diperoleh :

$$\frac{\sum M_{lawan}}{\sum M_{guling}} \geq SF \Rightarrow SF = 1,5$$

$$\frac{M_{E1} - M_{E2} + v_1 \cdot B_o / 2(P_1 - P_2)}{P(H + D)}$$

$$\frac{15402,293 - 717,675 + 0,384 \cdot 2,749 / 2(1921,68 - 1088,238)}{300(10 + 14)}$$

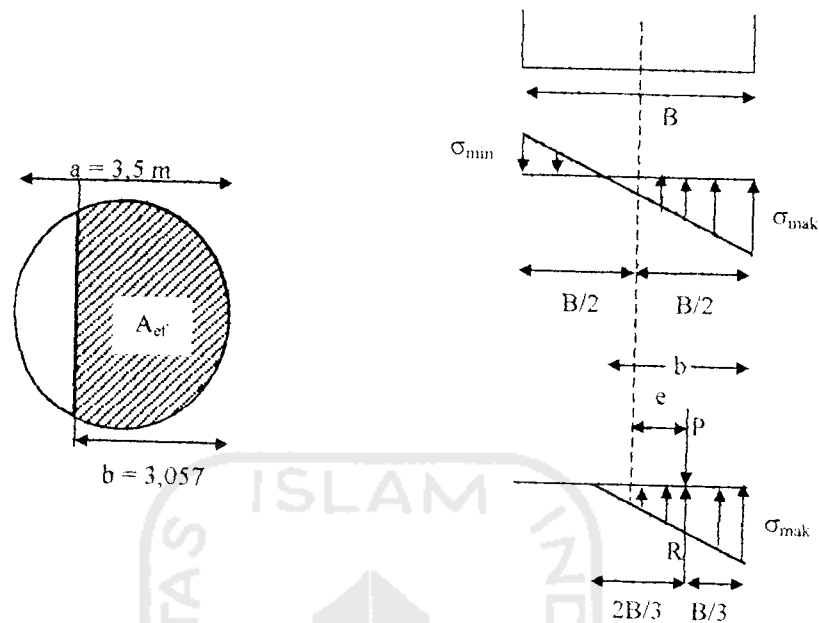
$$2,101 > 1,5$$

## 3) Kontrol kapasitas dukung tanah

Eksentrisitas (e)

$$e = \frac{M}{R} = \frac{7924,517}{10844,190} = 0,731 m > \frac{L}{6} = \frac{3,5}{6} = 0,583 m$$

Karena eksentrisitas berada di luar inti, maka ada sebagian tanah yang mengalami tarik. Secara teoritis tanah tidak dapat menahan tarik, sehingga tekanan tanah tarik diabaikan.



**Gambar 4.11 Diagram tekanan tanah yang terjadi.**

Menentukan luas efektif ( $A_{ef}$ ) dan tegangan maksimal ( $\sigma_{mak}$ )

Berdasarkan persamaan (C.1) pada lampiran 3 diperoleh :

$$b = 3 \left( \frac{a}{2} - e \right) = 3 \left( \frac{3,5}{2} - 0,731 \right) = 3,057 \text{ m} > \frac{a}{2} = \frac{3,5}{2} = 1,75 \text{ m}$$

Luas efektif ( $A_{ef}$ ) dapat ditentukan berdasarkan persamaan (C.4)

$$A_{ef} = \left[ 1 - \frac{\arccos \frac{2a - 6e}{a}}{180} \right] \frac{\pi}{4} \cdot a^2 + (a - 3e) \sqrt{3e(2a - 3e) - \frac{3}{4}a^2}$$

$$A_{ef} = 10,226 \text{ m}^2$$

Tegangan maksimal dapat ditentukan berdasarkan persamaan (C.2)

$$\sigma_{mak} = \frac{2R}{A_{ef}} = \frac{2 \cdot 10844,190}{10,226} = 2120,906 \text{ kN/m}^2$$

$$q = \gamma \cdot D = 8 \cdot 14 = 112 \text{ kN/m}^2,$$

Kontrol kapasitas dukung pondasi :



$$Q = Q_p + Q_s \geq W$$

$$\left[ \frac{\sigma_{netto}}{SF} + q \right] A_{ef} + \left[ \frac{v_1(P_1 + P_2)}{SF} \right] \geq W$$

$$\left[ \frac{12766,6}{2} + 112 \right] 10,226 + \left[ \frac{0,384(1921,683 + 1088,238)}{2} \right]$$

$$Q = 66998,843 \text{ kN} > W = 12000 \text{ kN.}$$

(d) Menentukan tebal dinding kaison

Berdasarkan persamaan (3.5.a) diperoleh :

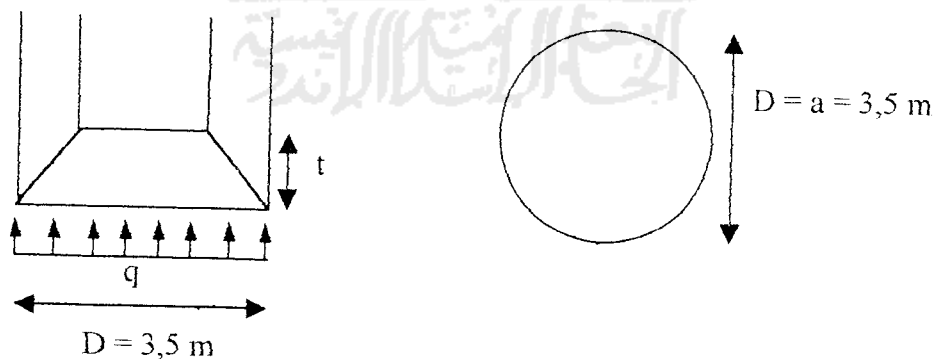
$$-t^2 + d \cdot t - \frac{v_1(P_1 + P_2)}{\pi \cdot D \cdot \gamma_c} > 0,$$

$$-t^2 + 3,5t - \frac{0,384(1921,683 + 1088,238)}{\pi \cdot 14,24} > 0,$$

$$-t^2 + 3,5t - 1,095 > 0,$$

diperoleh harga  $t = 0,695 \text{ m}$  dan  $-6,30 \text{ m}$ ,  $t$  diambil  $0,7 \text{ m}$ .

(e) Menentukan tebal pelat dasar



**Gambar 4.12 Tekanan pada dasar kaison dan tampang kaison lingkaran**

$$q = q_{dasar} + q_{air} - q_{pasir} - q_{pelat} = R/A + \gamma_w \cdot D_w - \gamma_p \cdot (14-1) - \gamma_c (1)$$

$$q = 10844,190/9,621 + 10 \cdot 12 - 18 \cdot 13 - 24 \cdot 1 = 989,123 \text{ kN/m}^2$$

Berdasarkan persamaan (3,51.a) untuk  $f_c = 30000 \text{ kN/m}^2$  dan  $\mu = 0,15$  diperoleh :

$$t^2 = \frac{3W}{8\pi \cdot f_c} (3 + \mu) \Rightarrow t = \sqrt{\frac{3q \cdot A_p}{8\pi \cdot 0,1 f_c} (3 + \mu)}$$

$$t = \sqrt{\frac{3 \cdot 989,123 \cdot 9,621}{8\pi \cdot 0,130000} (3 + 0,15)} = 1,092 \text{ m, diambil } t = 1,1 \text{ m.}$$

Kontrol tekanan air ke atas :

$$W_{\text{air}} < W_{\text{pelat}} + W_{\text{dinding}} + \text{Perlawanan gesek,}$$

$$Q \cdot A_p < 0,25 \cdot \pi \cdot 2,1^2 \cdot t_{\text{plat}} \cdot \gamma_c + 0,25 \cdot \pi (3,5^2 - 2,1^2) D \cdot \gamma_c + v_1 \cdot (P_1 + P_2)$$

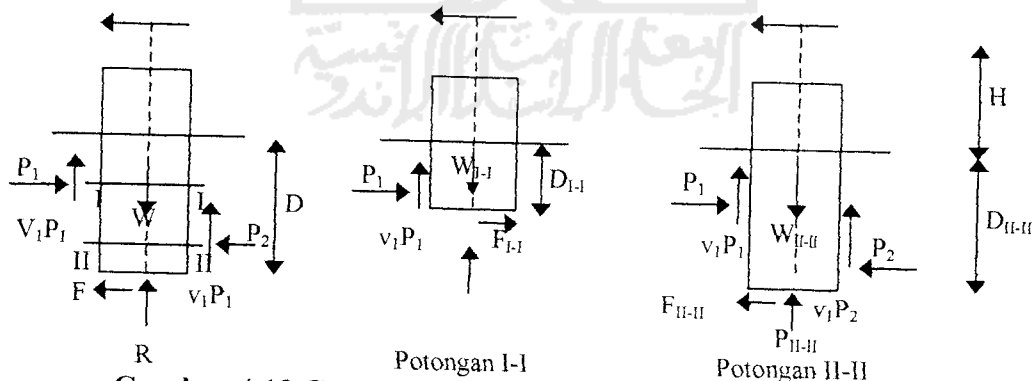
$$120 \cdot 9,621 < 0,25 \cdot \pi \cdot 2,1^2 \cdot 1,1 \cdot 24 + 0,25 \cdot \pi (3,5^2 - 2,1^2) 14 \cdot 24 + 0,384$$

$$(1921,683 + 1088,238)$$

$$1154,535 \text{ kN} < 3316,177 \text{ kN.}$$

(f) Kontrol stabilitas internal

f.1) Dinding kaisan



**Gambar 4.13** Gaya-gaya yang terjadi akibat potongan I-I dan potongan II-II

(a) Kontrol terhadap pecahnya struktur (lihat tabel 4.3)

Berdasarkan persamaan (3.38) diperoleh :

$$\sigma = \frac{R}{A} \pm \frac{M}{S} \leq \sigma$$

$$\overline{\sigma}_{dusuk} = 0,45 f'_c = 0,45 \cdot 30000 = 13500 \text{ kN/m}^2$$

$$\overline{\sigma}_{tarik} = 0,45 f'_c = 0,130000 = 3000 \text{ kN/m}^2$$

Tabel 4.3 Tegangan yang terjadi pada tiap-tiap potongan kaison.

D <sub>J-J</sub> (m)	R <sub>J-J</sub> (kN)	M <sub>F</sub> (kNm)	S <sub>d</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>d</sub> (m <sup>2</sup> )	σ <sub>max</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	σ <sub>min</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
0	8767,301	1627,452	3,300	6,157	1916,893	930,558
2	9229,115	10122,778	3,300	6,157	4566,228	-1568,789
4	9690,929	9727,957	3,300	6,157	4521,579	-1374,152
6	10152,744	8045,583	3,300	6,157	4086,763	-789,347
8	10614,558	4431,882	3,300	6,157	3066,697	380,708
D <sub>II-II</sub> (m)	R <sub>II-II</sub> (kN)	M <sub>F</sub> (kNm)	S <sub>d</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>d</sub> (m <sup>2</sup> )	σ <sub>max</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	σ <sub>min</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
11,97	11531,259	10996,566	3,300	6,157	5204,858	-1459,727
14	12000	7924,517	3,300	6,157	4350,053	-452,684

(b) Kontrol terhadap geser

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{A_p} \leq \bar{\tau} \Rightarrow \bar{\tau} = \sqrt{f'_c} / 119 \text{ (MPa)} = \sqrt{30} / 11 = 0,498 \text{ Mpa} = 498 \text{ kN/m}^2$$

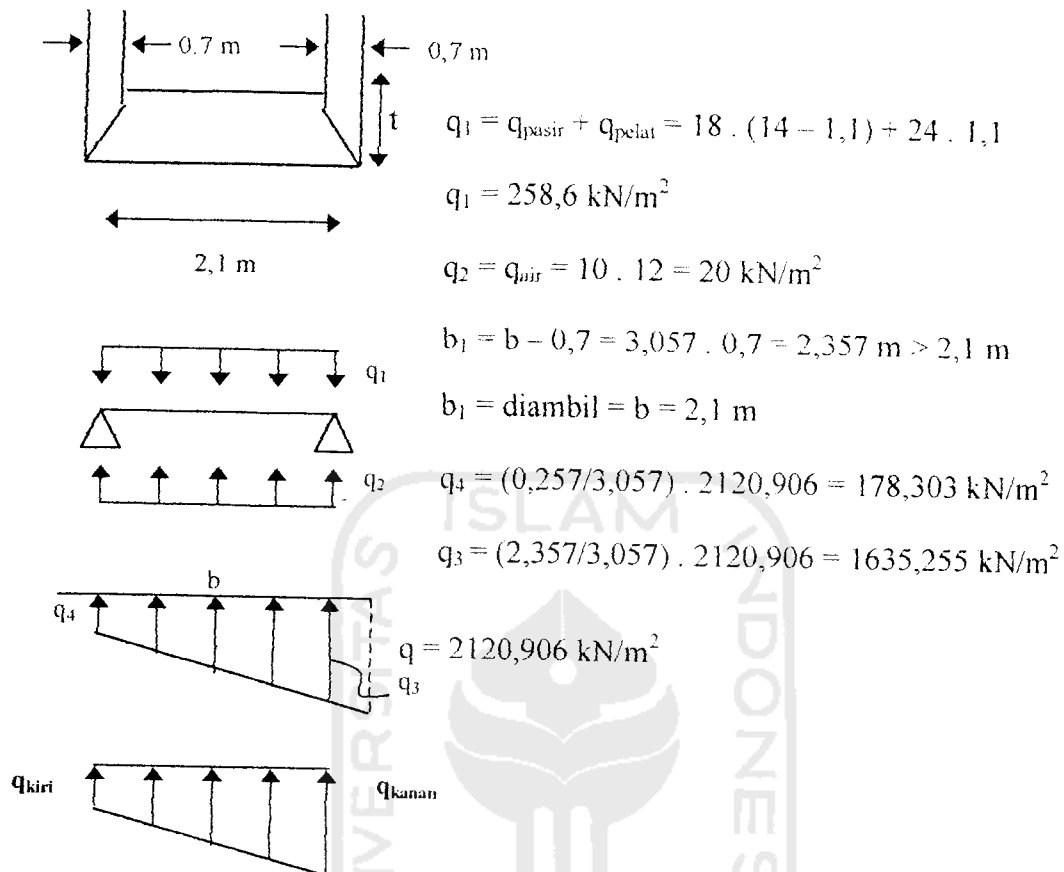
$$\tau_{maks} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{A_p} = \frac{3}{2} \cdot \frac{300}{3,896} = 115,516 \text{ kN/m}^2 < \tau_{ijm} = 498 \text{ kN/m}^2$$

f.2) Pelat dasar

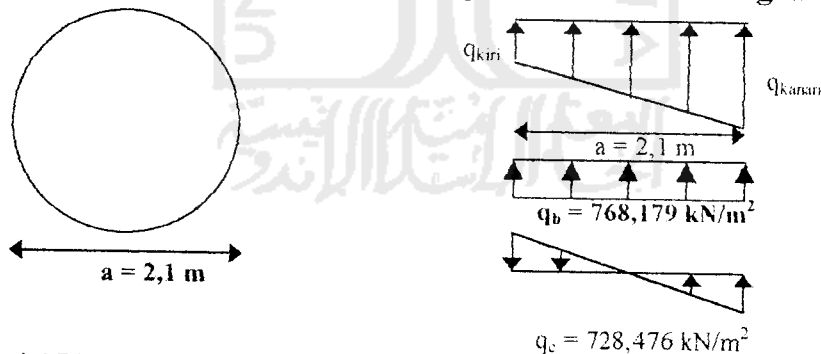
Berdasarkan gambar 4.14 tekanan yang terjadi :

$$q_{kiri} = q_4 + q_2 - q_1 = 178 + 120 - 258,6 = 39,703 \text{ kN/m}^2,$$

$$q_{kanan} = q_3 + q_2 - q_1 = 1635,255 + 120 - 258,6 = 39,703 \text{ kN/m}^2$$



**Gambar 4.14 Tekanan yang terjadi pada pelat dasar kaisan lingkaran**



**Gambar 4.15 Pembentukan pada kaisan tampang lingkaran**

Berdasarkan gambar 4.15 diperoleh :

$$M_{\text{mak b}} = \frac{q_b \cdot a^2 (3 + \nu)}{16} \cdot a = \frac{768,179 \cdot 2,1^2 (3 + 0,15)}{16} \cdot 2,1 = 1400,590 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{mak c}} = \frac{q_c \cdot a^2 (5 + \nu)}{72\sqrt{3}} \cdot a = \frac{728,476 \cdot 2,1^2 (5 + 0,15)}{72\sqrt{3}} \cdot 2,1 = 278,604 \text{ kNm}$$

$$Q_{makb} = \frac{q_b \cdot a^2}{4} = \frac{768,179 \cdot 2,1^2}{4} = 846,917 \text{ kN}$$

$$Q_{make} = \frac{q_c \cdot a^2}{12} \cdot \frac{(5+v)}{(3+v)} = \frac{728,476 \cdot 2,1^2}{12} \cdot \frac{(5+0,15)}{(3+0,15)} = 437,693 \text{ kN}$$

$$Q_{mak} = Q_{makb} + Q_{make} = 1284,670 \text{ kN.}$$

(a) Kontrol terhadap pecahnya struktur

$$\bar{\sigma} = 0,45 \cdot f'_c = 0,45 \cdot 30000 = 13500 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = \frac{6 M_{mak}}{(1) \cdot t^2} = \frac{6 \cdot 426,654}{(1) \cdot 1^2} = 2559,654 \text{ kN/m}^2 < \bar{\sigma}$$

(b) Kontrol terhadap geser

Tegangan geser ijin diambil pada pelat satu arah ( $l_2/l_1 > 2$ )

$$\bar{\tau} = \sqrt{f'_c} / 11 \text{ (MPa)} = \sqrt{30} / 11 = 0,497930 \text{ MPa} = 497,930 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{mak}}{(1) \cdot t} = \frac{3}{2} \cdot \frac{507,499}{(1) \cdot 1} = 761,249 \text{ kN/m}^2 > \bar{\tau}$$

Jadi Tebal Pelat ditambah :

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{mak}}{(1) \cdot t} = \frac{3}{2} \cdot \frac{507,499}{(1) \cdot 1,6} = 475,780 < \bar{\tau}$$

Jadi tebal Pelat ditambah = 1,6 m

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{mak}}{(1) \cdot t} = \frac{3}{2} \cdot \frac{507,499}{(1) \cdot 1,6} = 475,780 < \bar{\tau}$$

Kasus 3.

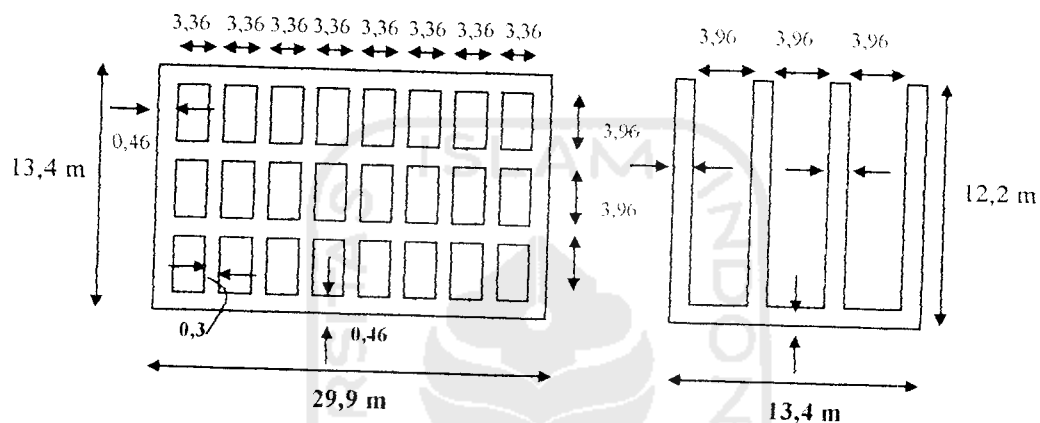
Kaisan sisi tertutup dengan ukuran seperti gambar 4.16. tebal dinding luar 18"

(0,46 m), dinding dalam 12" (0,30m) dan tebal dasar kaisan 1" (0,30m).

apabila  $\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^2$ , percepatan gravitasi =  $10 \text{ m/detik}^2$ .

Persoalan :

Bagaimana menganalisis stabilitas terhadap gaya angkat saat penarikan ke lokasi bila tinggi bebas minimum 3 m (jika tidak stabil kaison diisi pasir dengan  $\gamma_{\text{pasir}} = 18 \text{ kN/m}^3$ ).



Gambar 4.16 Kaison sisi tertutup

Penyelesaian :

(a) Menentukan jarak pusat berat terhadap sisi atas

a.1) Menentukan berat kaison

- panjang kaison = 29,9 m,
- lebar kaison = 13,40 m,
- tinggi kaison = 12,20 m,
- panjang lubang  $(29,2 - 2 \cdot 0,46 - 7 \cdot 0,3) = 26,88 \text{ m}$ ,
- lebar lubang  $(13,40 - 2 \cdot 0,40 - 2 \cdot 0,3) = 11,88 \text{ m}$ ,
- tinggi lubang  $(12,20 - 0,3) = 11,90 \text{ m}$ .

$$\text{Berat kaison (W)} = V \cdot \gamma_c = [(29,90 \cdot 13,40 \cdot 12,20) - (26,88 \cdot 11,88 \cdot 1,90)] \cdot 24$$

$$= 26111,343 \text{ kN}$$

a.2) Menentukan momen terhadap sisi atas kaison (M)

$$M = 24 \cdot [(29,90 \cdot 13,40 \cdot 12,20^2/2) - (26,88 \cdot 11,88 \cdot 11,90^2/2)]$$

$$M = 172959,480 \text{ kNm.}$$

Berdasarkan persamaan (3.30) diperoleh :

$$G = M/W = 172959,480/26111,343$$

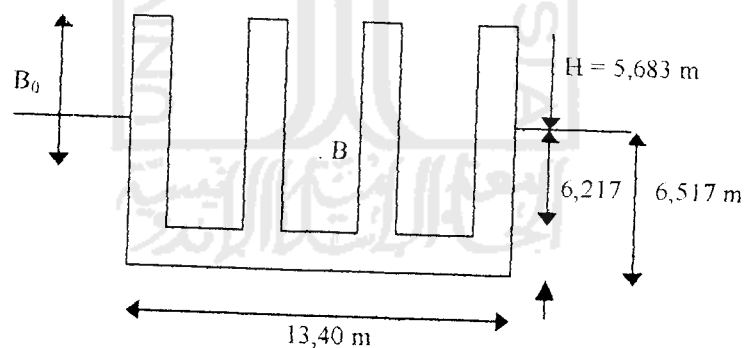
$$G = 6,62 \text{ m}$$

(b) Menentukan tinggi bebas (H)

$$W = \gamma_w \cdot V_s = \gamma_w \cdot h \cdot 29,90 \cdot 13,40$$

$$h = \frac{W}{\gamma_w \cdot 29,90 \cdot 13,40} = \frac{26111,343}{10 \cdot 29,90 \cdot 13,40} = 6,517 \text{ m}$$

(c) Menentukan dalam pusat berat bagian yang terapung terhadap sisi atas kaison ( $B_0$ )



Gambar 4.17 Kedudukan kaison saat penarikan ke lokasi

Berdasarkan persamaan (3.31) diperoleh :

$$B = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{13,40 \cdot 6,517 \left( \frac{6,517}{2} + 5,683 \right) - 11,88 \cdot 6,217 \left( \frac{6,217}{2} + 5,683 \right)}{13,40 \cdot 6,517 - 11,88 \cdot 6,217}$$

$$B = 9,764 \text{ m}$$

(d) Jarak metacentrum (m)

Berdasarkan persamaan (3.32) diperoleh :

$$m = \frac{I_{\min}}{V_s} - \overline{BG} > 0,$$

$$I_{\min} = 1/12 \cdot 29,90 \cdot 13,40^3 = 5995,209 \text{ m}^4,$$

$$V_s = 13,40 \cdot 6,517 \cdot 29,90 = 2611,101 \text{ m}^3,$$

$$\overline{M_c B} = I_{\min}/V_s = 5995,209/2611,101 = 2,296 \text{ m},$$

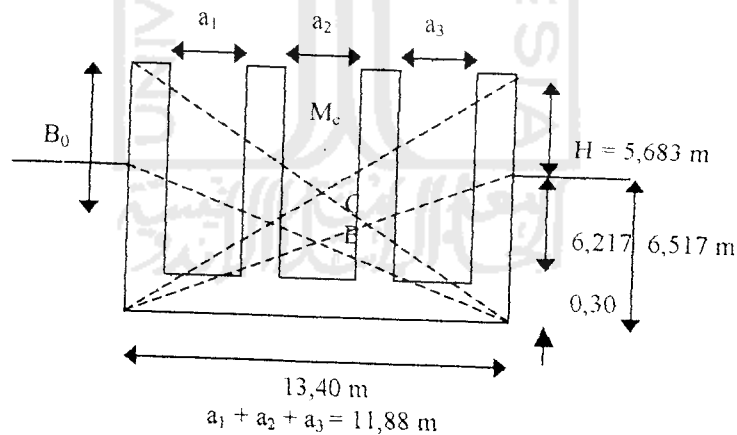
$$\overline{BG} = B \cdot G = 9,764 \cdot 6,624 = 3,14 \text{ m}$$

$$m = \overline{M_c G} = \overline{M_c B} - \overline{BG} = 2,296 - 3,14 = -0,844 \text{ m} < 0 \text{ (kaison terapung labil).}$$

Agar terapung stabil benda diisi pemberat (pasir dengan  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ )

(e) Menentukan volume pasir yang diisikan pada kaison

e.1) Mencari tebal lapisan pasir



**Gambar 4.18** Kedudukan kaison saat penarikan setelah diisi pasir

Misal H diambil 3 m ( $= H_{\min}$ ),

$$h = 12,2 - H = 12,2 - 3 = 9,2 \text{ m},$$

$$W_1 = \gamma_w \cdot h \cdot 13,4 \cdot 29,90 = 10,9,2 \cdot 13,4 \cdot 29,90 = 36860,72 \text{ kN},$$



$$W_1 - W_0 = W_{\text{pasir}} = \gamma \cdot t \cdot 11,88 \cdot 26,88$$

$$36860,720 - 26111,343 = 18 \cdot t \cdot 11,88 \cdot 26,88$$

Misal  $t$  diambil 1,87 m

$$M_1 = M_0 + M_{\text{pasir}} = 172959,480 + 18 \cdot 1,870 \cdot 11,88 \cdot 26,88 \cdot (11,9 - 1,870/2)$$

$$M_1 = 290820,027 \text{ kNm.}$$

$$G_1 = \frac{M_1}{W_1} = \frac{290820,027}{36860,72} = 7,890 \text{ m}$$

$$B_1 = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{13,40 \cdot h \left( \frac{h}{2} + H \right) - 11,88(h - 0,3 - t) \left( \frac{h - 0,3 - t}{2} + H \right)}{13,40 \cdot h - 11,88(h - 0,3 - t)}$$

$$B_1 = \frac{13,40 \cdot 9,2 \left( \frac{9,2}{2} + 3 \right) - 11,88 \cdot 7,03 \left( \frac{7,03}{2} + 3 \right)}{13,40 \cdot 9,2 - 11,88 \cdot 7,03} = 9,879 \text{ m}$$

$$\overline{B_1 G_1} = B_1 - G_1 = 9,879 - 7,890 = 1,989 \text{ m,}$$

$$\overline{M_c G_1} = m = \frac{I_{\min}}{V_s} - \overline{B_1 G_1} = 2,296 - 1,989 = 0,307 > 0 \dots \dots \dots \text{ok.}$$

Misal  $t$  diambil 1,5 m,

$$W_1 = W_0 + W_p = 26111,343 + 18 \cdot 1,5 \cdot 11,88 \cdot 26,88 = 34733,372 \text{ kN,}$$

$$M_1 = M_0 + M_p = 172959,480 + 18 \cdot 1,5 \cdot 11,88 \cdot 26,88 \cdot (11,9 - 1,5/2)$$

$$M_1 = 269095,101 \text{ kN/m,}$$

$$G_1 = M_1/W_1 = 269095,101/34733,372 = 7,747 \text{ m}$$

$$h = \frac{W_1}{\gamma_w \cdot 29,9 \cdot 13,40} = \frac{3473,372}{10 \cdot 29,9 \cdot 13,40} = 8,669 \text{ m}$$

$$H = 12,2 - h = 12,2 - 8,669 = 3,531 \text{ m} > 3 \text{ m,}$$

$$B_1 = \frac{13,40.8,669 \left( \frac{8,669}{2} + 3,531 \right) - 11,88.869 \left( \frac{6,869}{2} + 3,531 \right)}{13,40.8,669 - 11,88.6,869} = 9,991 \text{ m}$$

$$\overline{B_1 G_1} = B_1 - G_1 = 9,991 - 7,747 = 2,244 \text{ m}$$

$$\overline{M_1 G_1} = m = \frac{I_{\min}}{V_s} - \overline{B_1 G_1} = 2,296 - 2,244 = 0,052 > 0 \dots\dots\dots \text{ok}$$

Misal t diambil 1,4 m,

Hitungan seperti di atas dan diperoleh :

$$W_1 = 34158,570 \text{ kN,}$$

$$M_1 = 263088,421 \text{ kNm,}$$

$$G_1 = M_1/G_1 = 7,702 \text{ m,}$$

$$h = 8,526 \text{ m,}$$

$$H = 12,2 - h = 3,674 \text{ m,}$$

$$B_1 = 10,016 \text{ m}$$

$$\overline{B_1 G_1} = 2,314 \text{ m,}$$

$$\overline{M_c G_1} = m = \frac{I_{\min}}{V_s} - \overline{B_1 G_1} = 2,296 - 2,314 = -0,018 < 0$$

e.2) Tebal lapisan pasir yang bisa diisikan antara 1,5 m sampai 1,87 m.

Volume pasir yang bisa diisikan

$$\text{Untuk } t = 1,5 \text{ m, } V = 11,88.26,88.1,5 = 479,002 \text{ m}^3,$$

$$\text{Untuk } t = 1,87 \text{ m, } V + 11,88.26,88.1,87 = 597,155 \text{ m}^3.$$

Jadi volume pemberat pasir yang diisikan antara 479,002 m<sup>3</sup> sampai 597,155 m<sup>3</sup>.