

BAB VI ANALISIS STABILITAS BENDUNG

6.1 Uraian Umum

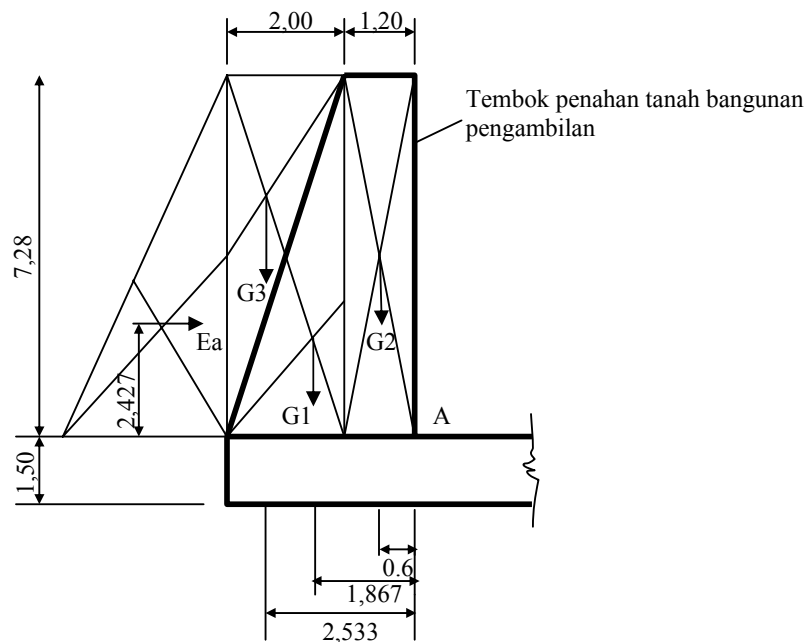
Perhitungan Stabilitas pada Perencanaan Modifikasi Bendung Kaligending ini hanya pada bangunan yang mengalami modifikasi atau perbaikan saja, yaitu pada bangunan :

1. Pintu Pengambilan
2. Pintu Penguras Bendung
3. Pintu Penguras Kantong Lumpur
4. Pintu Penerus

Dimensi bangunan sesuai dengan perhitungan pada bab sebelumnya.

6.2 Perhitungan Stabilitas Bangunan Pintu Pengambilan

6.2.1 Perhitungan Kestabilan Tembok Penahan Tanah pada Bangunan Pengambilan Bendung Kaligending



Gambar 6.1 Gaya-gaya yang Bekerja pada Tembok Penahan Tanah Pintu Pengambilan

a. Gaya-gaya yang Bekerja

- Data tanah pondasi di pintu pengambilan Bendung Kaligending
Dari hasil pengeboran di titik BM-4 dihasilkan data tanah pondasi sebagai berikut:

- Sudut geser dalam = $22,8^{\circ}$
- Saturated density (γ_{sat}) = $1,753 \text{ t/m}^3$
- Kohesi (c) = $0,033 \text{ kg/cm}^2$
- Specific Gravity (Gs) = $2,766 \text{ t/m}^3$
- SPT = 40 N

Skema gaya-gaya yang bekerja pada tembok penahan tersebut seperti terlihat pada gambar diatas.

- Besarnya tekanan tanah aktif dihitung berdasarkan rumus Coulomb sebagai berikut:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{sat}} \cdot h^2 \cdot \tan^2 (45^{\circ} - \phi/2) - 2 \cdot C \cdot h \cdot \tan^2 (45^{\circ} - \phi/2)$$

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot 1,753 \cdot 7,28^2 \cdot \tan^2 (45^{\circ} - 22,8/2) - 2 \cdot 0,033 \cdot 7,28 \cdot \tan (45^{\circ} - 22,8/2)$$

$$= 20,506 - 0,319 = 20,187 \text{ ton}$$

- Disini terlihat bahwa faktor kohesi tanah (C) sangat kecil, karena nilai kohesi (C) = $0,033 \text{ kg/cm}^2$ sangat kecil dan untuk selanjutnya pengaruh kohesi (C) diabaikan sehingga :

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{sat}} \cdot h^2 \cdot \tan^2 (45^{\circ} - \phi/2)$$

$$E_a = 20,506 \text{ ton}$$

- Besarnya gaya akibat berat sendiri tembok penahan :

$$G_1 = \frac{2,00 \cdot 7,28}{2} \cdot 2,35 = 17,108 \text{ ton}$$

$$G_2 = 1,20 \cdot 7,28 \cdot 2,35 = 20,530 \text{ ton}$$

- Besarnya berat urugan tanah dibelakang tembok penahan

$$G_3 = \frac{2,00 \cdot 7,28}{2} \cdot 1,753 = 12,762 \text{ ton}$$

b. Peninjauan Kestabilan Tembok Penahan Tanah terhadap Guling

Tembok penahan tanah terbuat dari beton *cyclope*, untuk menahan susut dan perubahan suhu, disyaratkan didalam PBI-1971 harus dipasang tulangan susut minimal 0,25 % dari luas beton *cyclope* yang ada.

$$\text{Luas beton cyclope rata-rata} = \frac{320+120}{2} * 100\text{cm}^2 = 22000 \text{ cm}^2$$

Sehingga luas tulangan susut yang diperlukan :

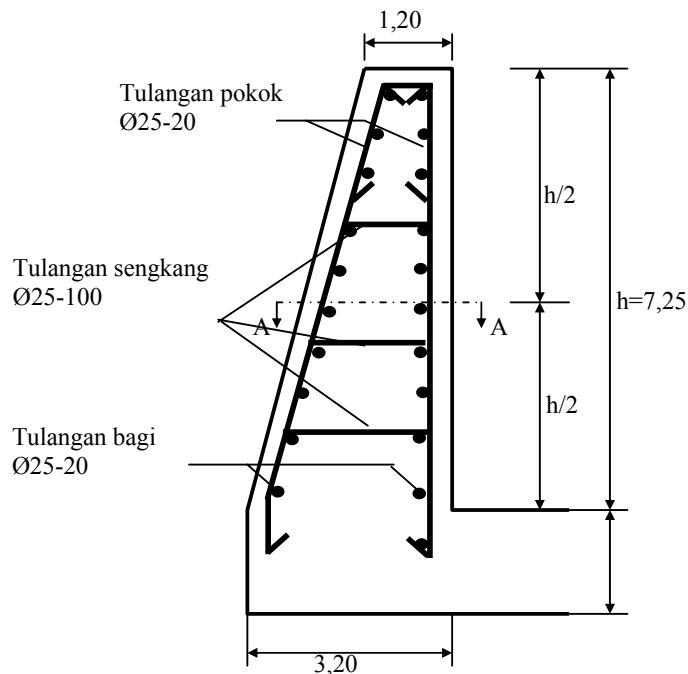
$$F_y = 0,25\% * 22000 = 55 \text{ cm}^2$$

$$\text{Digunakan 12 batang } \varnothing 25 \text{ mm} = 12 * (1/4 * 3.14 * 2,5^2) = 58,875 \text{ cm}^2 > 55 \text{ cm}^2.$$

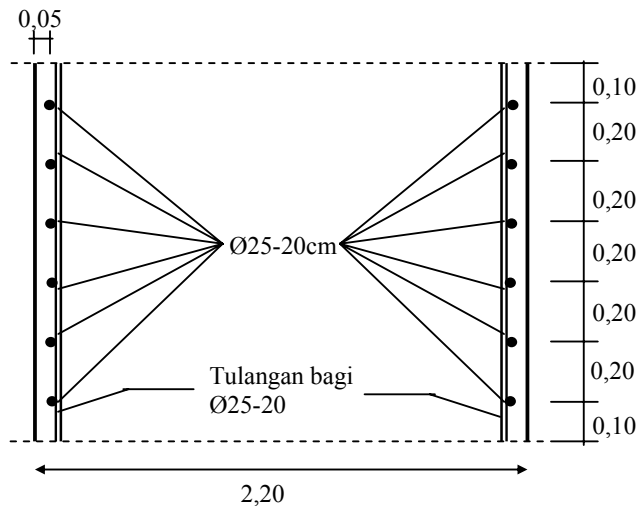
Dari 12 batang besi tulangan, 6 batang terpasang sebagai tulangan tarik seperti terlihat pada gambar.

$$\text{Luas besi tulangan 6 batang } \varnothing 25 \text{ mm} = 6 * (1/4 * 3.14 * 2,5^2) = 29,438 \text{ cm}^2.$$

Besarnya tulangan pembagi diambil sama besar dengan tulangan vertikal dan tidak boleh kurang dari 0,25% luas beton yang ada. Untuk tulangan pembagi ini dipakai $\varnothing 25 - 20 \text{ cm}$.

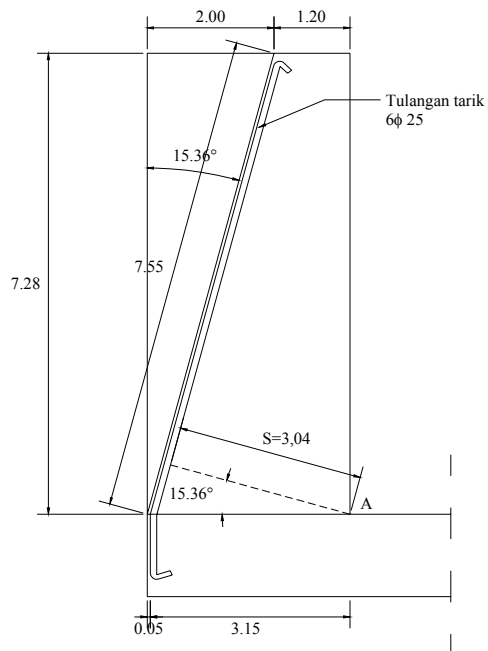


Gambar 6.2 Penulangan Tembok Penahan Tanah Bangunan Pengambilan.



Gambar 6.3 Potongan A – A

Untuk menghitung jarak titik tangkap gaya yang ditahan oleh tulangan tarik terhadap titik A adalah sebagai berikut:



Gambar 6.4 Tulangan tarik

Panjang sisi miring tembok penahan tanah (m) = $\sqrt{2^2 + 7,28^2} = 7,55$ m

$\sin \alpha = 2/7,55 = 0,265 \rightarrow \alpha = 15,36^\circ$

Jarak tulangan tarik 6 ϕ 25 terhadap titik A (S) = $3,15 * \cos \alpha$
= $3,15 * 0,9642 = 3,04$ m

Besarnya momen yang bekerja pada tembok penahan tanah adalah :

$M_{G1} = G_1 * L_1 = 17,108 * 1,867 = 31,9406$ tm (-)

$M_{G2} = G_2 * L_2 = 20,530 * 0,60 = 12,3178$ tm (-)

$M_{G3} = G_3 * L_3 = 12,762 * 2,533 = 32,3257$ tm (-)

$M_y = \text{tulangan tarik} * S = 53,02 * 3,04 = 165,18$ tm (-)

$M_{Ea} = \frac{Ea * a}{3} = \frac{20,506 * 2,427}{3} = 49,7681$ tm (+)

$\Sigma M_A = 191,996$ tm (-)

Tembok aman terhadap guling karena momen tahan lebih besar dari momen guling.

c. Penulangan Slab Beton Pondasi

Slab beton pondasi setebal 150 cm terbuat dari beton *cyclope* diberi tulangan susut seperti pada tembok penahan tanah.

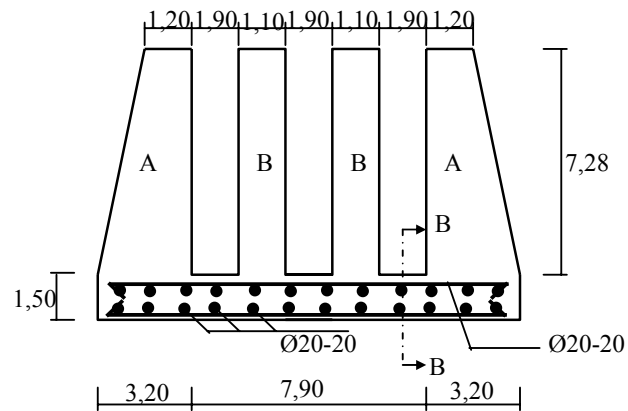
Luas tulangan susut pada slab beton diambil sesuai dengan PBI 71, minimum 0,25% luas beton yang ada.

$F_y = 0,25\% * 150 * 100 = 37,5$ cm²

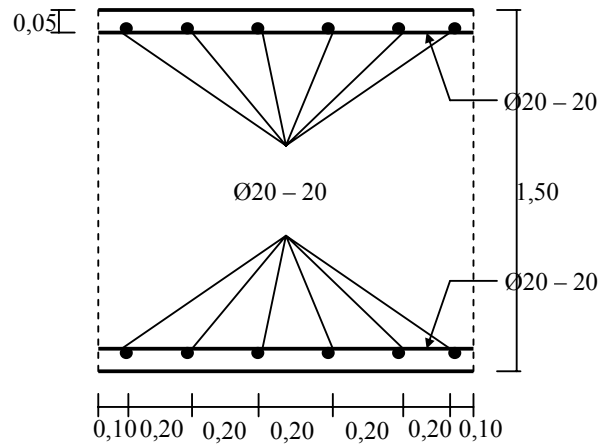
Dipakai tulangan 12 ϕ 20 mm = $12 * (1/4 * 3,14 * 20^2) = 37,704$ cm² > 37,5 cm²

Tulangan pembagi juga dipakai 12 ϕ 20 mm.

Pemasangan tulangan susut seperti gambar dibawah ini.



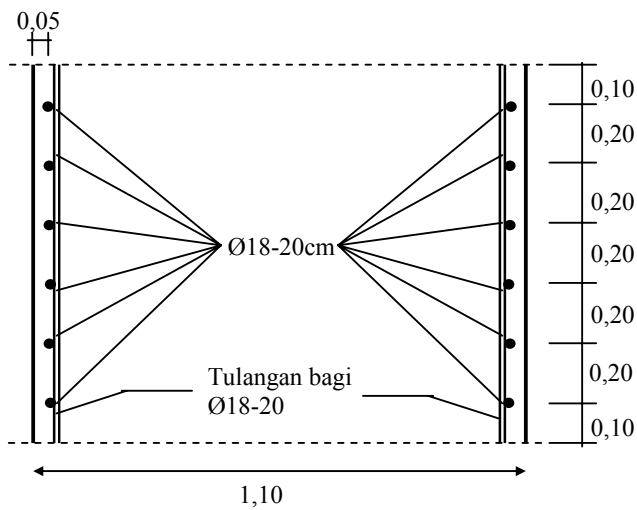
Gambar 6.5 Penulangan Slab Beton Pondasi Bangunan Pengambilan



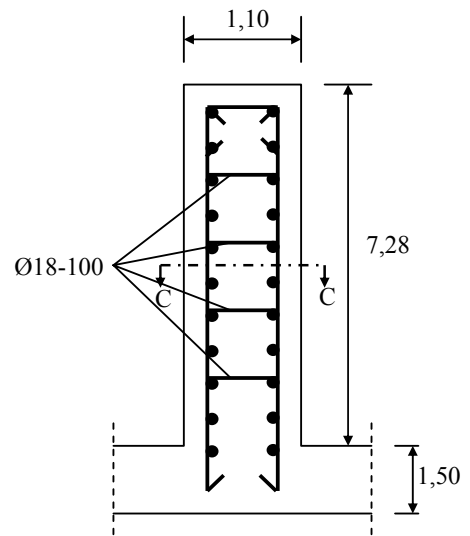
Gambar 6.6 Potongan B – B

6.2.2. Perhitungan Kestabilan Pilar B Pada Bangunan Pengambilan Bendung

Pilar B ini mendapat tekanan dari gaya-gaya yang simetris dari kanan dan kirinya, sehingga pilar ini tidak akan terguling oleh adanya gaya-gaya yang bekerja padanya. Sesuai PBI 1971, pilar yang terbuat dari beton *cyclope* ini diharuskan untuk dipasang tulangan susut seperti dilakukan pada tembok penahan tanah bangunan pengambilan ini. Luas tulangan yang diperlukan : $F_y = 0,25\% \cdot 110 \cdot 100 = 27,5 \text{ cm}^2$ Dipakai $12 \text{ } \varnothing 18 = 12 \cdot (1/4 \cdot 3,14 \cdot 1,8^2) = 30,54 \text{ cm}^2$ dan dipakai tulangan pembagi $12 \text{ } \varnothing 18 - 20 \text{ cm}$.



Gambar 6.7 Potongan C – C



Gambar 6.8 Penulangan Pilar B

a. Pemeriksaan kestabilan bangunan pengambilan terhadap daya dukung tanah pondasi

Beban yang ditahan oleh tanah pondasi bangunan pintu pengambilan Bendung Kaligending adalah :

- Berat sendiri tembok A = $2 \times 38,606 = 77,212$ ton
- Berat pilar B = $2 \times 1,1 \times 1 \times 7,28 \times 2,35 = 37,638$ ton
- Berat beton slab pondasi = $1,50 \times 14,3 \times 1,00 \times 2,35 = 50,408$ ton
- Berat pintu air :

➤ Berat stang = $2 \times F_{\text{stang}} \times h_{\text{stang}} \times \text{berat jenis baja}$
 $= 2 \times 0,0007065 \times 7,5 \times 7800 = 82,66$ kg

➤ Berat daun pintu = $h_{\text{pintu}} \times b_{\text{pintu}} \times t_{\text{pintu}} \times \text{berat jenis kayu}$
 $= 1,55 \times 1,95 \times 0,06 \times 800 = 145,08$ kg

➤ Berat sambungan = $20\% \times 145,08 = 29,02$ kg

Berat total pintu = $3 \times 256,76$ kg = 701,58 kg

- Berat atap = $11,1 \times 2,5 \times 0,2 \times 2,4 = 13,32$ ton

Total berat bangunan = 179,28 ton

$$\text{Beban terhadap tanah pondasi} = \frac{1789280 \text{ kg}}{100 * 1430 \text{ cm}^2} = 1,254 \text{ kg/cm}^2$$

Kontrol kestabilan daya dukung tanah pondasi menurut formula Terzaghi :

Data hasil penyelidikan tanah di BM.4:

- Sudut geser dalam (ϕ) = $22,8^\circ$
- Saturated density (γ_{sat}) = $1,753 \text{ t/m}^3$
- Kohesi (c) = $0,033 \text{ kg/cm}^2$
- SPT = 40 N
- Pasir padat

Dari tabel koefisien daya dukung didapat :

$$N_c = 21,844$$

$$N_q = 10,381$$

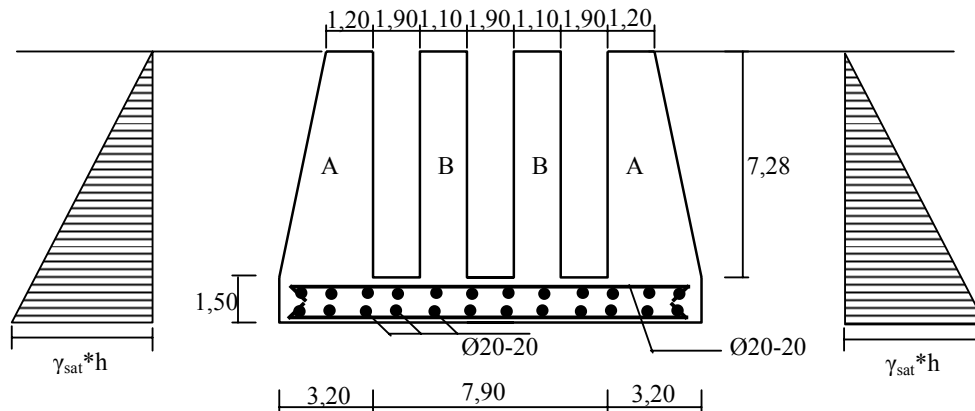
$$N_\gamma = 7,176$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} q_{\text{ult}} &= 0,033 * 21,844 + 1,753 * 8,58 * 10,381 + \frac{1}{2} * 1,753 * 14,3 * 7,176 \\ &= 246,8024 \text{ t/m}^2 = 24,68 \text{ kg/cm}^2 > 1,254 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{aman.} \end{aligned}$$

Dengan demikian tanah pondasi yang ada di lapangan cukup kuat menahan beban bangunan pintu pengambilan.

b. Perhitungan kestabilan bangunan pengambilan terhadap geser



Gambar 6.9 Kestabilan Bangunan Pengambilan terhadap Geser

Gaya-gaya dari luar yang bekerja pada bangunan pengambilan ini berupa tekanan tanah yaang berkerja simetris dari arah kanan dan kiri dengan arah berlawanan seperti terlihat pada sketsa diatas, sehingga bangunan ini tidak akan bergeser.

6.2.3. Perhitungan Banjir Scherm pada Pintu Pengambilan Bendung

Untuk menjaga agar banjir scherm ini stabil terhadap guling akibat tekanan yang ada di belakang tembok ini, maka tembok penahan tanah yang terbuat dari beton *cyclope* ini dipasang tulangan besi. Tulangan besi ini berfungsi sebagai penahan gaya-gaya yang ada dan sebagai tulangan untuk menahan susut dan perubahan suhu seperti disyaratkan didalam PBI-1971. besarnya tulangan susut ini minimal 0,25 % dari luas beton yang ada.

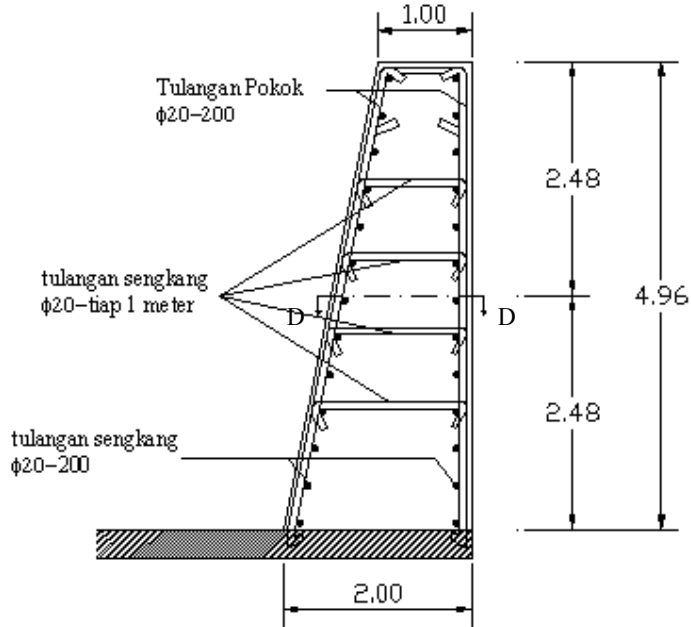
$$\text{Luas tembok penahan tanah rata-rata} = \frac{200 + 100}{2} * 100 \text{cm}^2 = 15000 \text{ cm}^2$$

Sehingga luas tulangan yang diperlukan = 0,25%*15000 = 37,5 cm²

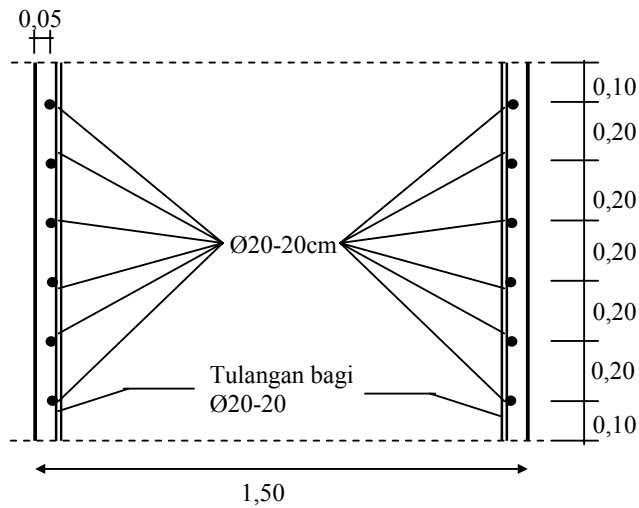
Digunakan 12 ϕ 20 mm = 12 * 3,142 = 37,704 cm² > 37,5 cm²

Pemasangan tulangan susut ϕ 20 mm dirangkai seperti pada gambar berikut dengan penutup beton setebal 5 cm dengan jarak antar tulangan 20 cm. Dari 12 batang besi tulangan, 6 batang dipasang sebagai tulangan tarik seperti pada gambar. Luas besi 6 ϕ 20 mm = 6*3,142 cm² = 18,852 cm².

$$\begin{aligned} \text{Gaya yang dapat ditahan oleh 6 batang tersebut} &= 18,852 * 1800 \text{ kg} \\ &= 33933,6 \text{ kg} = 33,93 \text{ ton.} \end{aligned}$$



Gambar 6.10 Penulangan Banjir Scherm Bangunan Pengambilan



Gambar 6.11 Potongan D – D

Besarnya tulangan pembagi diambil sama besar dengan tulangan vertikal dan tidak boleh kurang dari 0,25% luas beton yang ada.

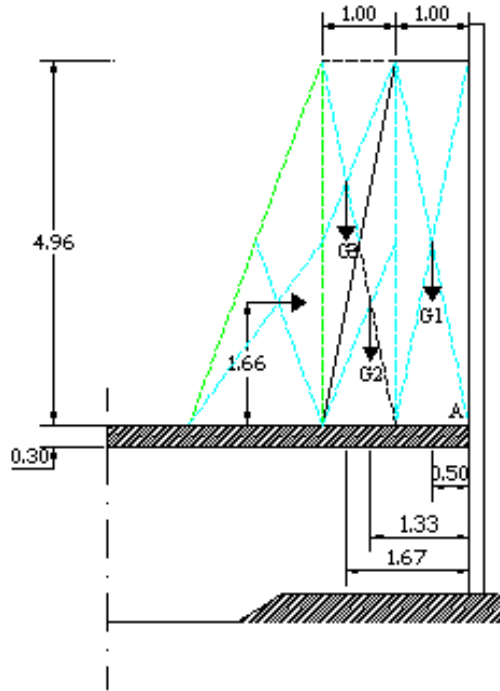
Untuk tulangan pembagi ini dipakai $\phi 20 - 200$.

Tekanan tanah yang membebani banjir *scherm* sebesar:

$$Ea = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{sat}} \cdot h^2 \cdot \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

$$Ea = \frac{1}{2} \cdot 1,753 \cdot 4,96^2 \cdot \text{tg} (45^\circ - 22,8^\circ/2) = 9,52 \text{ ton}$$

Untuk menghitung jarak titik tangkap gaya yang ditahan oleh tulangan tarik terhadap titik A adalah sebagai berikut:

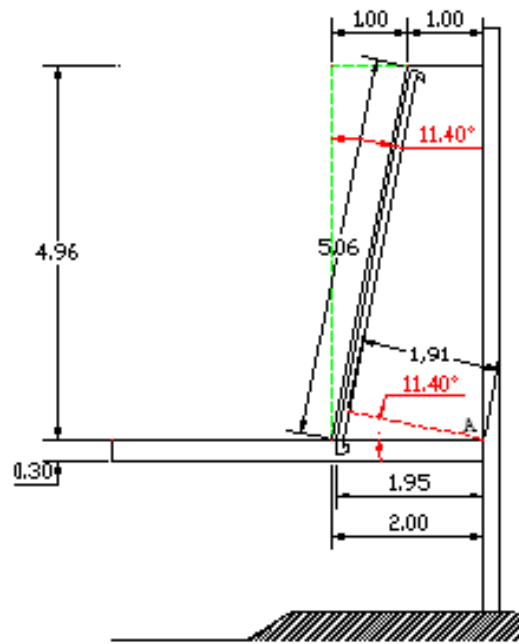


Gambar 6.12 Gaya yang Bekerja pada Banjir Scherm

$$\text{Panjang sisi miring tembok penahan tanah (m)} = \sqrt{4,96^2 + 1,00^2} = 5,06 \text{ m}$$

$$\text{Sin } \alpha = 1,00/5,06 = 0,19763 \rightarrow \alpha = 11,40^{\circ}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan tarik } 6 \phi 20 \text{ terhadap titik A (S)} &= 1,95 * \text{Cos } \alpha \\ &= 1,95 * 0,9803 = 1,91 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 6.13 Jarak Titik Tangkap Gaya yang ditahan Tulangan

Besarnya momen yang bekerja pada banjir scherm adalah :

$$M_{G1} = G_1 * L_1 = 4,96 * 1,00 * 2,35 * 0,50 = 5,828 \text{ tm (-)}$$

$$M_{G2} = G_2 * L_2 = \frac{4,96 * 1,00}{2} * 2,35 * 1,33 = 7,751 \text{ tm (-)}$$

$$M_{G3} = G_3 * L_3 = \frac{4,96 * 1,00}{2} * 1,753 * 1,67 = 7,260 \text{ tm (-)}$$

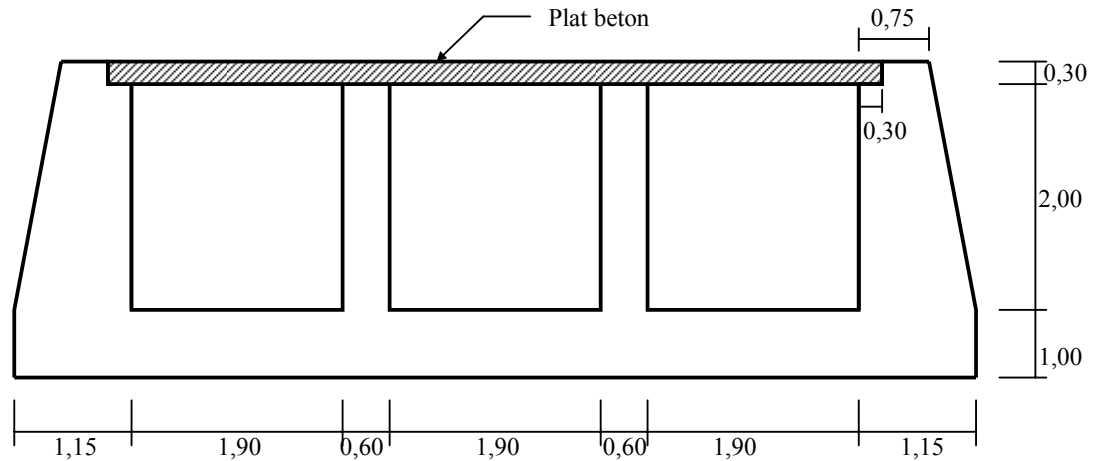
$$M_y = \text{tulangan tarik} * S = 33,93 * 1,91 = 64,81 \text{ tm (-)}$$

$$M_{Ea} = E_a * a = 9,52 * 1,65 = 15,708 \text{ tm (+)}$$

$$\Sigma M_A = 71,745 \text{ tm (-)}$$

Tembok aman terhadap guling karena momen tahan lebih besar dari momen guling.

6.2.4. Perhitungan Plat Beton Penutup Saluran pada Bangunan Pintu Pengambilan Bendung.



Gambar 6.14 Plat Penutup Saluran

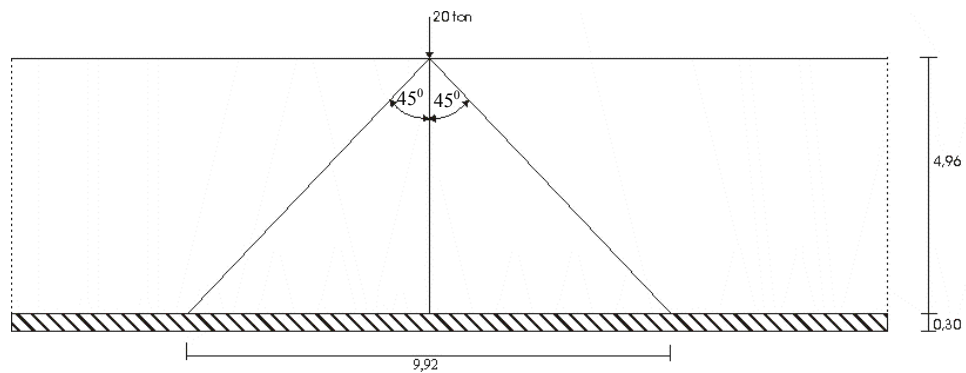
- Beban plat penutup saluran

Plat penutup dibebani oleh timbunan tanah dan muatan berguna berupa muatan tidak tetap seperti kendaraan yang ada di atasnya dan lain-lain.

- Beban plat sendiri = $0,30 \times 1,00 \times 1,00 \times 2,4 \text{ ton} = 0,72 \text{ ton/m}$
- Beban timbunan tanah = $4,96 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,753 \text{ ton} = 8,695 \text{ ton}$
- Beban kendaraan diatas tanah timbunan

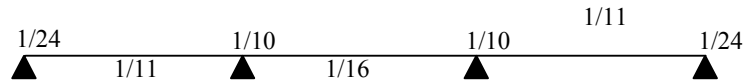
Beban titik ini akan tersebar seperti gambar dibawah ini. Dengan adanya penyebaran tekan tersebut maka besarnya beban akan menjadi beban merata sebesar

$$\text{sebesar} = \frac{20}{9,92 \times 1,00} = 2,016 \text{ ton/m}$$



Gambar 6.15 Penyebaran Beban Kendaraan

- Distribusi momen pada plat penutup saluran
Distribusi momen pada plat penutup saluran yang dibebani muatan berguna berupa timbunan tanah dan kendaraan dan lain-lain (SKSNI T15-1991-03) :



Gambar 6.16 Distribusi Momen

- Perhitungan momen yang bekerja pada plat penutup saluran
Beban yang bekerja pada plat penutup saluran adalah sebagai berikut :
 - Beban berat plat sendiri = $0,30 \times 1,00 \times 1,00 \times 2,40 = 0,720$ ton/m
 - Beban timbunan tanah diatas plat = $8,695$ ton/m
 - Beban muatan kendaraan = $2,016$ ton/m
 - $q_{total} = 11,431$ ton/m
 - Bentang teoritis $l_t = 1,90 + 0,3 + 0,3 = 2,50$ m
 - Momen :

Dipilih momen yang paling besar pada setiap bentang :

$$M_1 = 1/10 * q * l_t^2$$

$$M_1 = 1/11 * 11,431 * 2,50^2 = 6,49 \text{ tm} = 64,9 \text{ KNm}$$

$$M_t = 1/10 * 11,431 * 2,50^2 = 7,14 \text{ tm} = 71,4 \text{ KNm}$$

- Perhitungan penulangan lapangan
Mutu beton (f^c) = 25 Mpa
Mutu baja (f_y) = 400 MPa
Tebal plat = 300 mm
Tebal penutup beton (p) = 50 mm
Perkiraan diameter tulangan utama (\emptyset_p) = 12 mm
Tinggi efektif (d) :
 $d = h - p - \frac{1}{2} * \emptyset_p = 300 - 50 - \frac{1}{2} * 12 = 244$ mm

Momen lapangan :

$$\frac{Mu}{b * d^2} = \frac{64,9}{1,00 * 0,244^2} = 1090,097$$

Menurut Tabel Perencanaan Beton Bertulang didapat :

$$\rho = 0,0033$$

$$\rho_{\min} = 0,0018 \text{ (Tabel ...)}$$

$$\rho_{\max} = 0,0203 \text{ (Tabel...)}$$

Tabel 6.1 ρ_{\min} yang disyaratkan

Seluruh mutu beton	$f_y = 250 \text{ MPa}$	$f_y = 400 \text{ MPa}$
Balok pada umumnya	0,0056	0,0035
Alternatif	$4/3\rho_{\text{an}}$	$4/3\rho_{\text{an}}$
Pelat	0,0025	0,0018

Sumber : W.C.Vis & Kusuma (1993)

Tabel 6.2 ρ_{\max} yang disyaratkan

$f_y \text{ MPa}$	$f'_c \text{ MPa}$				
	15	20	25	30	35
240	0,0242	0,0323	0,0404	0,0484	0,0538
400	0,0122	0,0163	0,0203	0,0244	0,0271

Sumber : W.C.Vis & Kusuma (1993)

$\rho > \rho_{\min}$, sehingga yang dipakai $\rho = 0,0033$

$$A_{sl} = \rho * b * d * 10^6$$

$$= 0,0033 * 1,0 * 0,244 * 10^6 = 805,2 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $\text{Ø}12 - 100 = 1539 \text{ mm}^2$

Sesuai dengan SKSNI T15-1991-03, dalam arah tegak lurus terhadap tulangan utama harus disediakan tulangan pembagi (demi tegangan susut dan suhu):

$$\text{Untuk } f_y = 400 \text{ Mpa} = \frac{0,18 * b * h}{100}$$

Tulangan pembagi di lapangan

$$A_s = \frac{0,18 * 1000 * 300}{100} = 540 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $\text{Ø}12 - 200 = 565 \text{ mm}^2$

- Perhitungan penulangan tumpuan

$$\text{Momen tumpuan} = \frac{71,4}{1,00 * 0,244^2} = 1199,27$$

Menurut Tabel Perencanaan Beton Bertulang didapat :

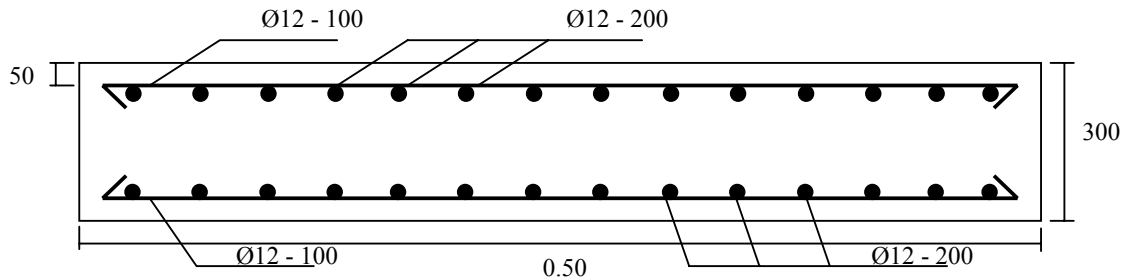
$$\rho = 0,0039 > \rho_{\min} = 0,0018$$

$$A_{st} = 0,0039 * 1 * 0,244 * 10^6 = 951,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan } \text{Ø}12 - 100 = 1539 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan bagi} = A_s = \frac{0,18 * 1000 * 300}{100} = 540 \text{ mm}^2$$

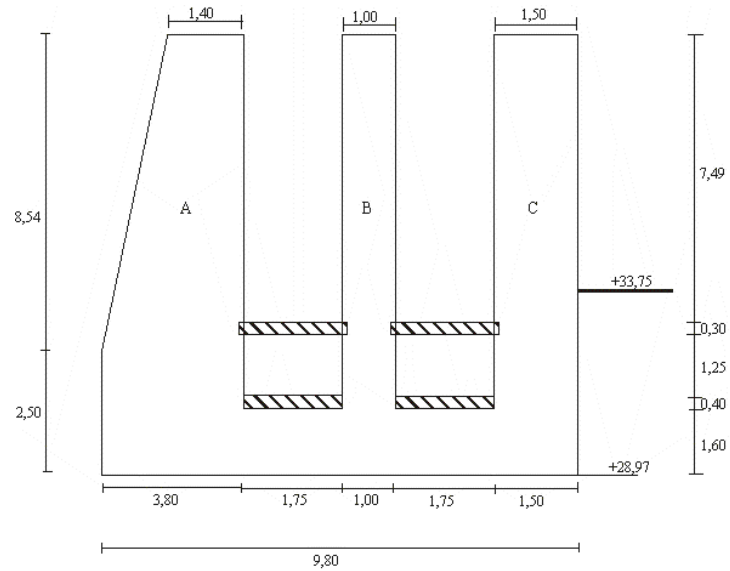
$$\text{Dipakai tulangan } \text{Ø}12 - 200 = 565 \text{ mm}^2$$



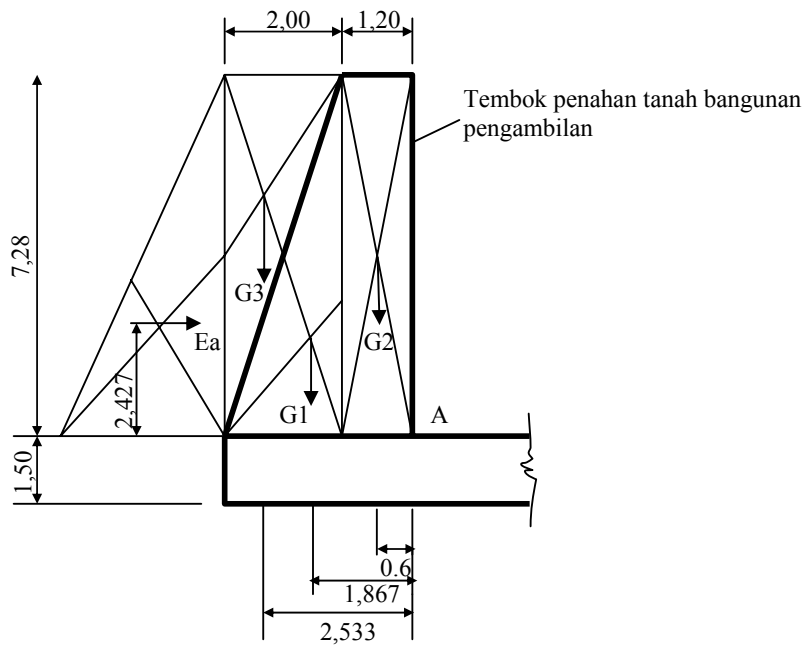
Gambar 6.17 Penulangan Plat Penutup Saluran

6.3 Perhitungan Stabilitas Bangunan Pintu Penguras Bendung

6.3.1 Perhitungan Kestabilan Tembok Penahan Tanah pada Bangunan Pintu Penguras Bendung



Gambar 6.18 Bangunan Pintu Penguras Bendung



Gambar 6.19 Gaya yang Bekerja pada Tembok Penahan Tanah Bangunan Penguras Bendung

a. Gaya-gaya yang Bekerja

- Data hasil penyelidikan tanah di BM.4:
 - Sudut geser dalam (ϕ) = $22,8^{\circ}$
 - Saturated density (γ_{sat}) = $1,753 \text{ t/m}^3$
 - Kohesi (c) = $0,033 \text{ kg/cm}^2$
 - SPT = 40 N
 - Pasir padat
- Gaya-gaya yang bekerja pada tembok penahan tanah pada bangunan penguras bendung adalah sebagai berikut:

$$E_a = \frac{1}{2} * \gamma_{\text{sat}} * h^2 * \tan^2 (45^{\circ} - \phi/2) - 2 * C * h * \tan^2 (45^{\circ} - \phi/2)$$

- Karena nilai kohesi (C) = $0,033 \text{ kg/cm}^2$ sangat kecil maka pengaruh kohesi (C) diabaikan sehingga :

$$E_a = \frac{1}{2} * \gamma_{\text{sat}} * h^2 * \tan^2 (45^{\circ} - \phi/2)$$

$$E_a = \frac{1}{2} * 1,753 * 9,04^2 * 0,441425 = 31,619 \text{ ton}$$

- Besarnya gaya akibat berat sendiri tembok penahan :

$$G_1 = \frac{2,00 * 8,54}{2} * 2,35 = 24,083 \text{ ton}$$

$$G_2 = 1,40 * 8,54 * 2,35 = 28,097 \text{ ton}$$

$$G_3 = 0,50 * 3,80 * 2,35 = 4,465 \text{ ton}$$

- Besarnya berat urugan tanah dibelakang tembok penahan

$$G_4 = \frac{2,40 * 8,54}{2} * 1,753 = 17,965 \text{ ton}$$

$$\text{Total } (G_1 + G_2 + G_3 + G_4) = 74,61 \text{ ton}$$

- Perhitungan penulangan pada tembok penahan tanah

Tembok penahan tanah terbuat dari beton *cyclope*, untuk menahan susut dan perubahan suhu, disyaratkan didalam PBI-1971 harus dipasang tulangan susut minimal 0,25 % dari luas beton *cyclope* yang ada.

$$\text{Luas beton cyclope rata-rata} = \frac{140 + 380}{2} * 100 \text{ cm}^2 = 26000 \text{ cm}^2$$

Sehingga luas tulangan susut yang diperlukan :

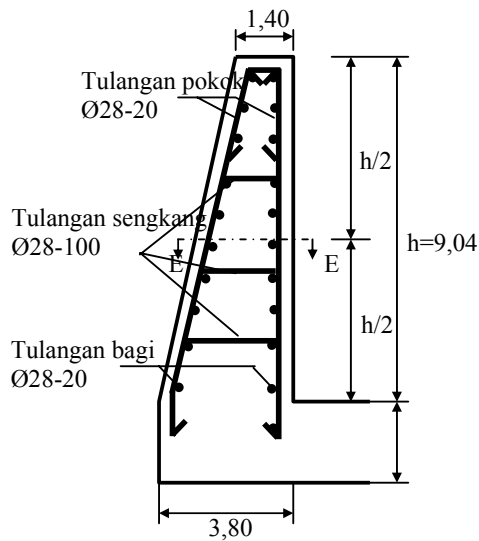
$$F_y = 0,25\% * 26000 = 65 \text{ cm}^2$$

Digunakan 12 batang $\varnothing 28 \text{ mm} = 12 \cdot (1/4 \cdot 3.14 \cdot 2,8^2) = 73,90 \text{ cm}^2 > 65 \text{ cm}^2$.

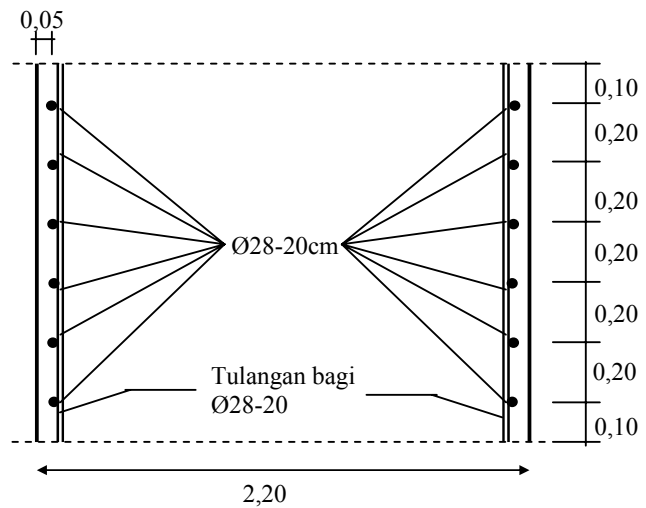
Dari 12 batang besi tulangan, 6 batang terpasang sebagai tulangan tarik seperti terlihat pada gambar.

Luas besi tulangan 6 batang $\varnothing 28 \text{ mm} = 6 \cdot (1/4 \cdot 3.14 \cdot 2,8^2) = 36,95 \text{ cm}^2$.

Besarnya tulangan pembagi diambil sama besar dengan tulangan vertikal dan tidak boleh kurang dari 0,25% luas beton yang ada. Untuk tulangan pembagi ini dipakai $\varnothing 28 - 20 \text{ cm}$.

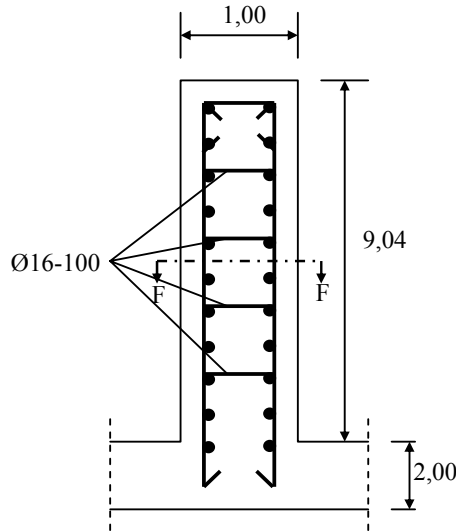


**Gambar 6.20 Penulangan
Bangunan Penguras**

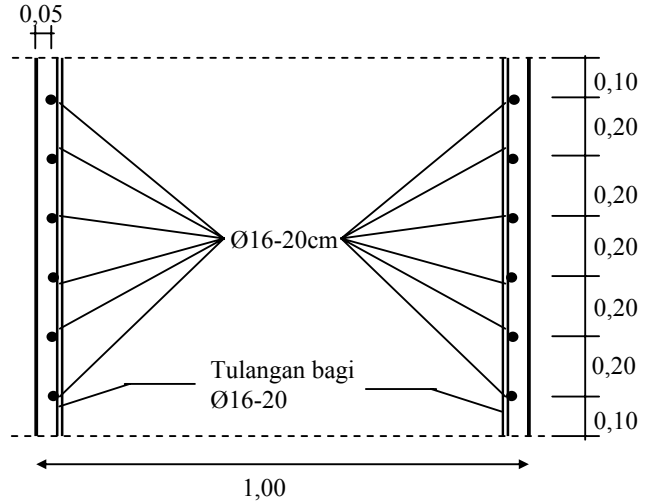


Gambar 6.21 Potongan E – E

6.3.2 Perhitungan kestabilan pilar B pada Bangunan Penguras Bendung



Gambar 6.22 Penulangan Pilar B



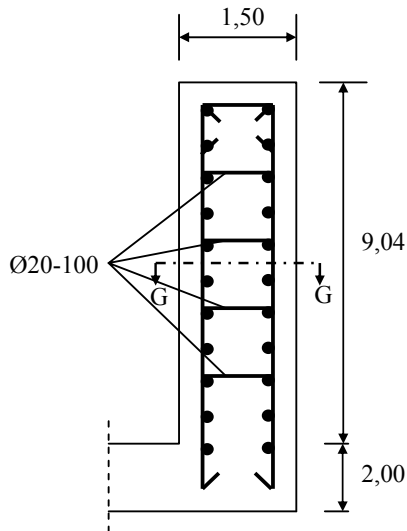
Gambar 6.23 Potongan F – F

Pilar B ini mendapat tekanan dari gaya-gaya yang simetris dari kanan dan kirinya, sehingga pilar ini tidak akan terguling oleh adanya gaya-gaya yang bekerja padanya. Sesuai dengan PBI 71, pilar yang terbuat dari beton *cyclope* ini diharuskan untuk dipasang tulangan susut seluas 0,25% luas penampang.

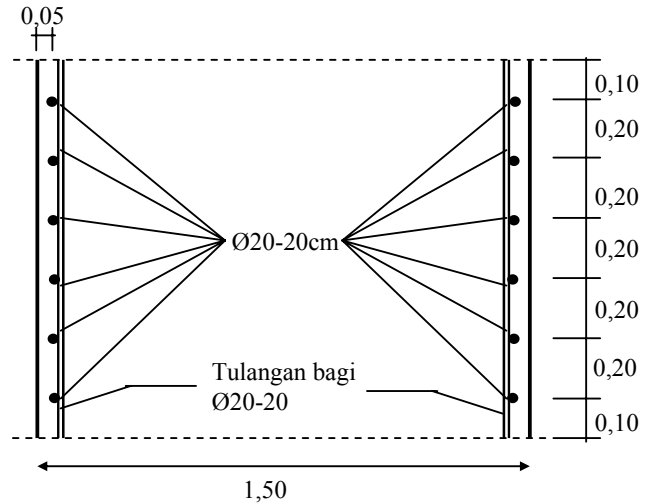
$$F_y = 0,25\% * 1,00 * 1,00 = 25 \text{ cm}^2$$

Dipakai 12 Ø 16 mm = 12 * 2,011 = 24,132 cm² dan tulangan pembagi sebanyak 12 Ø 16 mm – 20 cm.

6.3.3 Perhitungan kestabilan pilar C pada Bangunan Penguras Bendung



Gambar 6.24
Penulangan Pilar C



Gambar 6.25 Potongan G – G

Gaya-gaya yang bekerja pada pilar C simetris seperti halnya pada Pilar B. Analogi dengan pilar B, tulangan susut yang digunakan seluas 0,25% luas beton yang ada, atau:

$$F_y = 0,25\% * 1,50 * 1,00 = 37,5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai } 12 \text{ } \varnothing 20 \text{ mm} = 12 * 3,142 = 37,704 \text{ cm}^2$$

Dipakai tulangan pembagi sebanyak 12 \varnothing 20 mm

6.3.4 Penulangan Slab Beton Pondasi

Slab beton pondasi setebal 200 cm terbuat dari beton *cyclope* diberi tulangan susut seperti halnya pada tembok penahan tanah yang ada di atasnya.

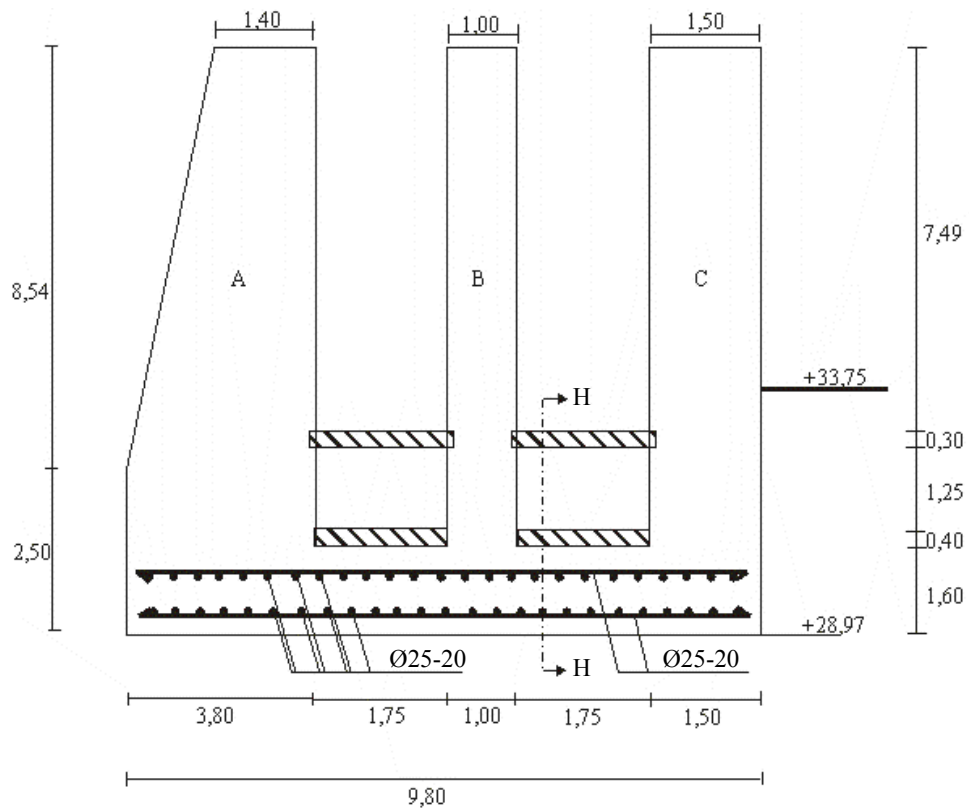
Luas tulangan susut pada beton slab pondasi diambil sesuai dengan PBI 71, minimum 0,25% luas beton yang ada.

$$F_y = 0,25\% * 200 * 100 = 50 \text{ cm}^2$$

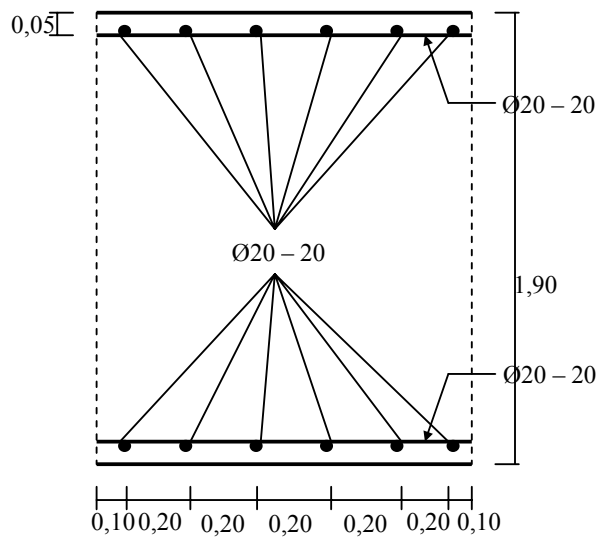
$$\text{Dipakai } 12 \text{ } \varnothing 25 \text{ mm} = 12 * 4,91 = 58,92 \text{ cm}^2 > 50 \text{ cm}^2$$

Tulangan pembagi juga dipakai 12 \varnothing 25 mm

Pemasangan tulangan susut pada slab pondasi seperti gambar berikut:



Gambar 6.26 Penulangan Slab Pondasi Bangunan Penguras Bendung



Gambar 6.27 Potongan H - H

6.3.5 Perhitungan Kestabilan Bangunan Penguras Bendung Terhadap Daya Dukung Tanah Pondasi

- Berat sendiri tembok penahan tanah dan berat tanah urugan
 $(G_1 + G_2 + G_3 + G_4) = 74,610 \text{ ton}$
 - Berat pilar B = $1,00 * 9,04 * 2,35 = 21,244 \text{ ton}$
 - Berat pilar C = $1,50 * 9,04 * 2,35 = 31,866 \text{ ton}$
 - Berat bangunan pondasi = $2,00 * 9,8 * 1,00 * 2,35 = 46,060 \text{ ton}$
 - Berat beton slab pondasi = $1,50 * 14,3 * 1,00 * 2,35 = 50,408 \text{ ton}$
 - Berat pintu air :
 - Berat stang = $2 * F_{\text{stang}} * h_{\text{stang}} * \text{berat jenis baja}$
 $= 2 * 0,0007065 * 7,5 * 7800 = 82,66 \text{ kg}$
 - Berat daun pintu = $h \text{ pintu} * b \text{ pintu} * t \text{ pintu} * \text{berat jenis kayu}$
 $= 1,55 * 1,95 * 0,06 * 800 = 145,08 \text{ kg}$
 - Berat sambungan = $20\% * 145,08 = 29,02 \text{ kg}$
 Berat total pintu = $2 * (82,66 + 145,08 + 29,02) \text{ kg} = 514 \text{ kg}$
 - Berat atap = $5,5 * 2,5 * 0,2 * 2,4 = 6,60 \text{ ton}$
- Total berat bangunan = 180,894 ton

$$\text{Beban terhadap tanah pondasi} = \frac{180894 \text{ kg}}{100 * 980 \text{ cm}^2} = 1,85 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan data tanah seperti pada pintu pengambilan, dari tabel koefisien daya dukung didapat :

$$N_c = 21,844$$

$$N_q = 10,381$$

$$N_\gamma = 7,176$$

Sehingga :

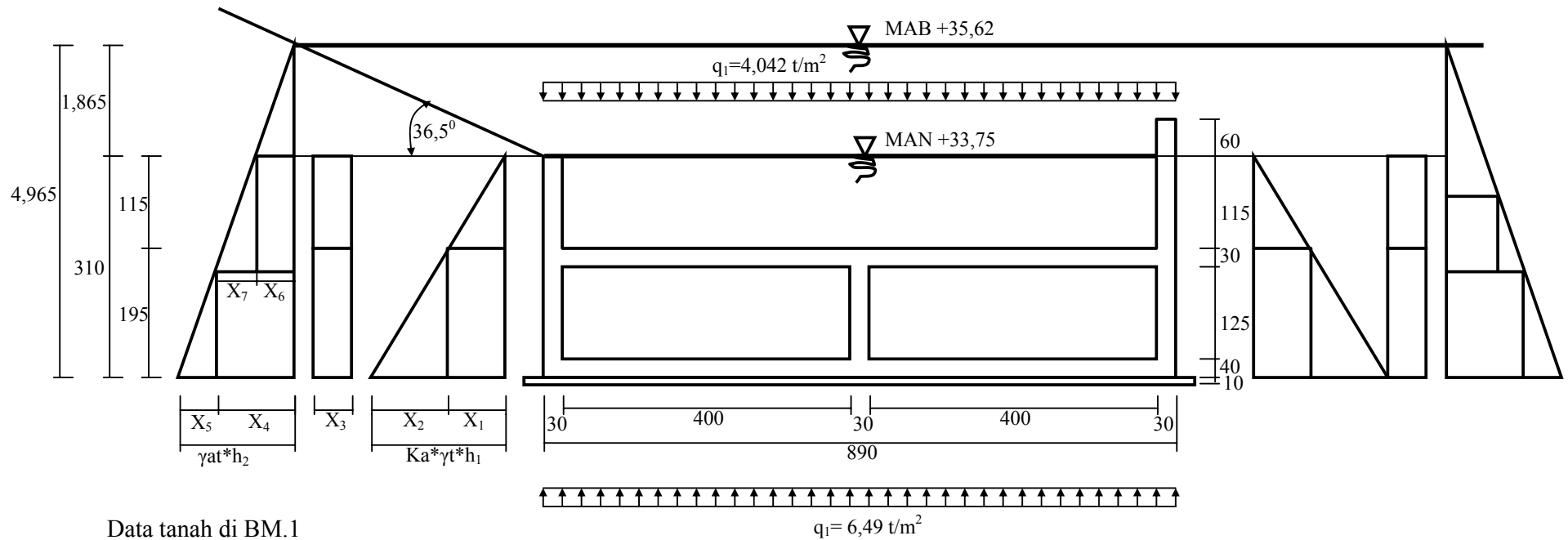
$$q_{\text{ult}} = 0,033 * 21,844 + 1,753 * 11,04 * 10,381 + \frac{1}{2} * 1,753 * 9,80 * 7,176$$

$$= 263,266 \text{ t/m}^2 = 26,33 \text{ kg/cm}^2 > 1,85 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{aman.}$$

Dengan demikian tanah pondasi yang ada di lapangan cukup kuat menahan beban bangunan pintu pengambilan.

6.3.6 Perhitungan Struktural *Under sluice* Bendung Kaligending

- a. Kondisi Pembebanan
 1. Pembebanan diperhitungkan pada kondisi banjir, barrel dalam keadaan kosong
 2. Gaya-gaya yang bekerja pada plat dasar
 - a. Gaya up lift
 - b. Reaksi tanah dasar, sebagai akibat beban di atasnya
 3. Gaya-gaya yang bekerja pada plat samping
 - a. Tekanan tanah aktif, sebagai akibat timbunan tanah kembali
 - b. Tekanan tanah aktif sebagai akibat beban terbagi rata
 - c. Tekanan air
 4. Gaya-gaya yang bekerja pada plat atas
 - a. Beban air di atasnya
 - b. Berat sendiri plat
 5. Gaya-gaya yang bekerja pada plat tegak
 - a. Gaya momen dan gaya normal, sebagai akibat satu kesatuan barrel



Data tanah di BM.1

$\gamma_t = 1,562 \text{ t/m}^3$

$\phi = 19,102^\circ$

$\gamma_{air \text{ sungai}} = 1,1 \text{ t/m}^3$

$\gamma_{air \text{ tanah}} = 1,0 \text{ t/m}^3$

Gambar 6.28 Beban yang Bekerja Pada Saluran *Under Sluice*

b. Perhitungan Beban

1. Beban Vertikal

a. Plat atas

- Beban air diatas barrel (q_a) = $(35,62-32,60)*1,1 = 3,322 \text{ t/m}^2$
- Berat sendiri plat = $0,3*2,4 = 0,72 \text{ t/m}^2$
- Total beban plat atas (q_1) = $4,042 \text{ t/m}^2$

b. Plat dasar

- Berat barrel per meter panjang (B_b)
 $\{(3,1+3,7)*0,3 + (0,3+0,4)*8,3 + (0,3*1,25)\} * 2,4 = 19,74 \text{ ton}$
- Total beban pada tanah dasar (B_d)
 $B_d = B_b + q_a * B = 19,74 + 3,322*8,9 = 49,306 \text{ ton}$
- Up lift per meter panjang (U_1)
 $U_1 = \text{volume barrel} * \gamma_{at} = 8,9*1,95*1 = 8,9 \text{ ton}$
- Total beban yang bekerja pada plat dasar (B_{pl})
 $B_{pl} = B_d - U_1 = 49,386 - 8,9 = 40,406 \text{ ton}$
- Tekanan pada tanah dasar (σ_t) = $B_{pl}/B = 40,406/8,9 = 4,54 \text{ t/m}^2$
- Up lift per m^2 (U_1/m^2) = $1,95*1 = 1,95 \text{ t/m}^2$
- Total tekanan pada plat dasar (q_2)
 $Q_2 = \sigma_t + U_1/m^2 = 4,54 + 1,95 = 6,49 \text{ t/m}^2$

2. Beban Horisontal

Koefisien tekanan tanah aktif di bagian kiri (K_{a1})

$$\begin{aligned}
 K_{a1} &= \frac{\cos^2 \phi}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \phi \times \sin(\phi - \delta)}{\cos \phi}} \right]^2} \\
 &= \frac{\cos^2 19,102^\circ}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin 19,102^\circ \times \sin(19,102^\circ - 36,5^\circ)}{\cos 19,102^\circ}} \right]^2} \\
 &= 0,5196
 \end{aligned}$$

Koefisien tekanan tanah aktif di bagian kanan (K_{a2})

$$K_{a2} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 19,102^\circ}{1 + \sin 19,102^\circ} = 0,5088$$

Karena Ka_1 hampir sama dengan Ka_2 , maka diambil $Ka = 0,5196 \approx 0,52$

a. Akibat timbunan tanah kembali

$$Ka \cdot \gamma_t \cdot h_1 = 0,52 \cdot 1,562 \cdot 3,1 = 2,518 \text{ t/m}$$

$$X_1 = 115/310 \cdot 2,518 = 0,934 \text{ t/m}$$

$$X_2 = 2,518 - 0,934 = 1,584 \text{ t/m}$$

b. Akibat tekanan air

$$\gamma_{at} \cdot h_2 = 1 \cdot 4,965 = 4,965 \text{ t/m}$$

$$X_3 = 301,5/496,5 \cdot 4,965 = 3,015 \text{ t/m}$$

$$X_4 = 4,965 - 3,015 = 1,647 \text{ t/m}$$

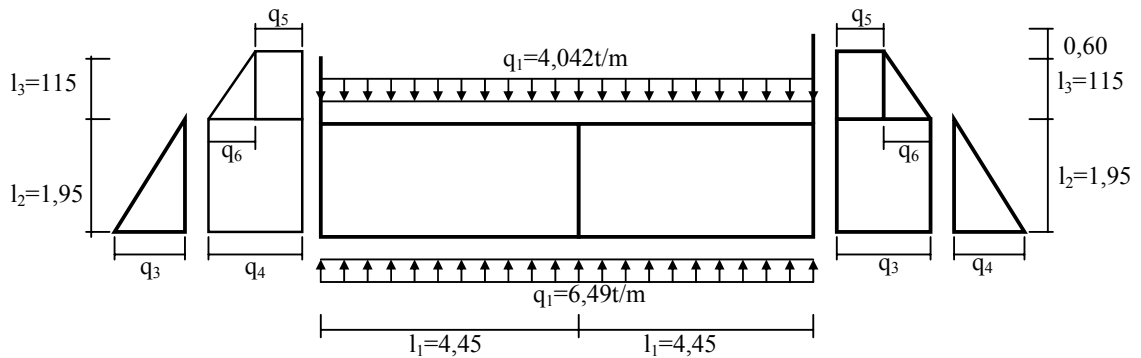
$$X_5 = 186,5/301,5 \cdot 3,015 = 1,865 \text{ t/m}$$

$$X_6 = 3,015 - 1,865 = 1,15 \text{ t/m}$$

c. Akibat beban terbagi rata

$$X_7 = Ka \cdot q_1 \cdot h_1 = 0,52 \cdot 4,042 \cdot 3,1 = 6,516 \text{ t/m}$$

3. Penyederhanaan Beban



Gambar 6.29 Penyederhanaan Beban pada Saluran Under Sluice

$$q_3 = x_1 + x_3 + x_5 = 0,934 + 3,015 + 6,516 = 10,552 \text{ t/m}$$

$$q_4 = x_2 + x_4 = 1,584 + 1,647 = 3,231 \text{ t/m}$$

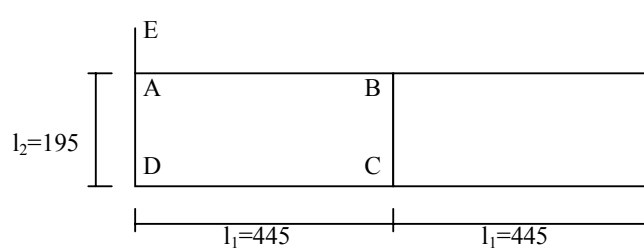
$$q_5 = x_5 + x_6 = 6,516 + 1,865 = 8,381 \text{ t/m}$$

$$q_6 = x_1 + x_7 = 0,934 + 1,15 = 2,084 \text{ t/m}$$

c. Perhitungan Gaya

Perhitungan momen dengan menggunakan cara Cross

1. Momen Primer



Gambar 6.30 Pemodelan Matematis Bangunan *Under Sluice*

$$M_{pAB} = - 1/12 * q_1 * l_1^2 = - \frac{4,042 * 4,45^2}{12} = - 6,67 \text{ tm}$$

$$M_{pBA} = + 6,67 \text{ tm}$$

$$M_{pDC} = + 1/12 * q_2 * l_1^2 = + \frac{6,49 * 4,45^2}{12} = + 10,71 \text{ tm}$$

$$M_{pCD} = - 10,71 \text{ tm}$$

$$M_{pAD} = 1/12 * q_3 * l_2^2 + 1/30 * q_4 * l_2^2$$

$$= - \left(\frac{10,552 * 1,95^2}{12} + \frac{3,231 * 1,95^2}{30} \right) = - 3,753 \text{ tm}$$

$$M_{pDA} = 1/12 * q_3 * l_2^2 + 1/20 * q_4 * l_2^2$$

$$= + \left(\frac{10,552 * 1,95^2}{12} + \frac{3,231 * 1,95^2}{20} \right) = + 3,958 \text{ tm}$$

$$M_{pAE} = + \left(\frac{8,381 * 1,15^2}{2} + \frac{2,084 * 1,15^2}{36} \right) = - 5,618 \text{ tm}$$

2. Faktor Distribusi

$$\bullet \text{ Joint A; } \mu_{AB} : \mu_{AD} = \frac{4(EI)_{AB}}{l_1} : \frac{4(EI)_{AD}}{l_2} = \frac{1}{l_1} : \frac{1}{l_2}$$

$$= \frac{1}{4,45} : \frac{1}{1,95} = 0,225 : 0,513$$

$$\mu_{AB} = \frac{0,225}{0,225 + 0,513} = 0,305$$

$$\mu_{AD} = \frac{0,513}{0,225 + 0,513} = 0,695$$

- Joint D; $\mu_{DA} : \mu_{DC} = \frac{4(EI)_{DA}}{l_2} : \frac{4(EI)_{DC}}{l_1} = \frac{I_{DA}}{l_2} : \frac{I_{DC}}{l_1}$
 $= \frac{30^3}{195} : \frac{40^3}{445} = 0,1385 : 0,1438$

$$\mu_{DA} = \frac{0,1385}{0,1385 + 0,1438} = 0,491$$

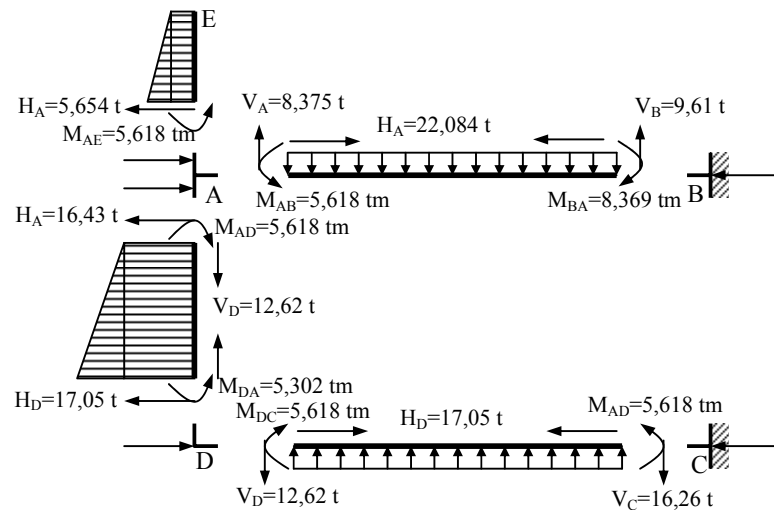
$$\mu_{DC} = \frac{0,1438}{0,1385 + 0,1438} = 0,509$$

3. Distribusi Momen

Tabel 6.3 Distribusi Momen

CD	D		A			BA	Keterangan
	DC	DA	AD	AE	AB		
-10.710	0.509 10.710	0.491 -3.958	0.695 3.753	-5.618	0.305 -6.670	6.670	μ Mp
-1.718	-3.437	-3.315 3.542	-1.658 7.084	0.000	3.109	1.554	D I D I
-0.901	-1.803	-1.739 0.302	-0.870 0.604	0.000	0.265	0.133	D I D I
-0.077	-0.154	-0.148 0.026	-0.074 0.052	0.000	0.023	0.011	D I D I
-0.007	-0.013	-0.013 0.002	-0.006 0.004	0.000	0.002	0.001	D I D I
-0.001	-0.001	-0.001 0.000	-0.001 0.000	0.000	0.000	0.000	D I D I
-13.414	5.302	-5.302	8.889	-5.618	-3.271	8.369	Momen akhir

4. Gaya Geser dan Gaya Normal



Gambar 6.31 Free Body Gaya-gaya Dalam Saluran Under Sluice

- Batang CD

$$\Sigma M_D = 0$$

$$V_C * 4,45 + 5,302 - 13,414 - 1/2 * 6,49 * 4,45^2 = 0$$

$$V_C = 16,26 \text{ ton } (\downarrow)$$

$$\Sigma M_C = 0$$

$$-V_D * 4,45 + 5,302 - 13,414 + 1/2 * 6,49 * 4,45^2 = 0$$

$$V_D = 12,62 \text{ ton } (\downarrow)$$

- Batang AB

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-V_B * 4,45 - 5,618 + 8,369 + 1/2 * 4,402 * 4,45^2 = 0$$

$$V_B = 9,61 \text{ ton } (\uparrow)$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A * 4,45 - 5,618 + 8,369 - 1/2 * 4,402 * 4,45^2 = 0$$

$$V_A = 8,375 \text{ ton } (\uparrow)$$

- Batang DA

$$\Sigma M_D = 0$$

$$-H_A * 1,95 - 5,302 + 8,889 + 1/2 * 10,552 * 1,95^2 + 1/2 * 1,95 * 13,231 * 1/3 * 1,95 = 0$$

$$H_A = 16,43 \text{ ton } (\leftarrow)$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$H_D * 1,95 - 5,302 + 8,889 - \frac{1}{2} * 10,552 * 1,95^2 - \frac{1}{2} * 1,95 * 13,231 * \frac{2}{3} * 1,95 = 0$$

$$H_D = 17,05 \text{ ton } (\leftarrow)$$

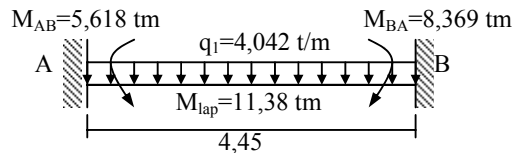
- Batang AE

$$H_A = 8,381 * 0,6 + \frac{1}{2} * 0,6 * 2,084$$

$$= 5,654 \text{ ton } (\leftarrow)$$

5. Perhitungan Penulangan

- Balok AB



$$\text{Tinggi plat (h)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Penutup beton (c)} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Ø sengkang} = 8 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{2} \text{ Ø sengkang} = \underline{8 \text{ mm}}$$

$$\text{Total} = 66 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi efektif (d)} = h - c - \text{Ø}_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \text{Ø}_{\text{tul.ut.}}$$

$$= 300 - 50 - 8 - 8 = 234 \text{ mm}$$

Momen tumpuan :

$$\frac{M_U}{b * d} = \frac{56,18}{1 * 0,234^2} = 1026,01$$

$$\text{Dari tabel diperoleh } \rho = 0,0033 > \rho_{\min} = 0,0018$$

$$A_{st} = \rho * b * d = 0,0033 * 1000 * 234 = 772,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan utama } \text{Ø}16 - 100 = 2011 \text{ mm}^2$$

Momen lapangan :

$$\frac{M_U}{b * d} = \frac{113,8}{1 * 0,234^2} = 2078,31 \rightarrow \rho = 0,0069 > \rho_{\min}$$

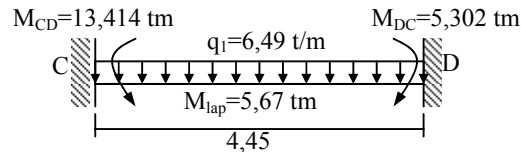
$$A_{sl} = 0,0069 * 1000 * 234 = 1614,6 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan lapangan $\text{Ø}16 - 100 = 2011 \text{ mm}^2$

$$\text{Tulangan bagi} = A_s = \frac{0,18 * b * h}{100} = \frac{0,18 * 1000 * 300}{100} = 540 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan bagi $\text{Ø}10 - 100 = 785 \text{ mm}^2$

- Batang CD



Tinggi plat (h) = 400 mm

Penutup beton (c) = 50 mm

Ø sengkang = 8 mm

$1/2 \text{ Ø}$ sengkang = 8 mm

Total = 66 mm

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (d)} &= h - c - \text{Ø}_{\text{sengk.}} - 1/2 \text{ Ø}_{\text{tul.ut.}} \\ &= 400 - 50 - 8 - 8 = 334 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen tumpuan :

$$\frac{M_u}{b * d} = \frac{134,14}{1 * 0,334^2} = 1202,45$$

Dari tabel diperoleh $\rho = 0,0039 > \rho_{\min} = 0,0018$

$$A_{st} = \rho * b * d = 0,0039 * 1000 * 334 = 1302,6 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan tumpuan $\text{Ø}16 - 100 = 2011 \text{ mm}^2$

Momen lapangan :

$$\frac{M_u}{b * d} = \frac{56,7}{1 * 0,334^2} = 508,26 \rightarrow \rho = 0,0016 < \rho_{\min}$$

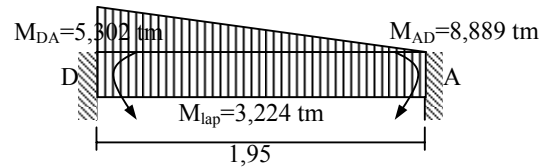
$$A_{sl} = \rho_{\min} * b * d = 0,0018 * 1000 * 334 = 601,2 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan lapangan $\text{Ø}16 - 100 = 2011 \text{ mm}^2$

$$\text{Tulangan bagi} = A_s = \frac{0,18 * b * h}{100} = \frac{0,18 * 1000 * 400}{100} = 720 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan bagi $\text{Ø}10 - 100 = 785 \text{ mm}^2$

- Batang AD



Tinggi plat (h) = 300 mm

Penutup beton (c) = 50 mm

Ø sengkang = 8 mm

1/2 Ø sengkang = 8 mm

Total = 66 mm

Tinggi efektif (d) = $h - c - \text{Ø}_{\text{sengkang}} - 1/2 \text{Ø}_{\text{tul.ut}}$
 $= 300 - 50 - 8 - 8 = 234 \text{ mm}$

Momen tumpuan :

$$\frac{M_u}{b * d} = \frac{88,89}{1 * 0,234^2} = 1623,38$$

Dari tabel diperoleh $\rho = 0,0054 > \rho_{\text{min}} = 0,0018$

$$A_{st} = \rho * b * d = 0,0054 * 1000 * 234 = 1263,6 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan tumpuan Ø16 – 100 = 2011 mm²

Momen lapangan :

$$\frac{M_u}{b * d} = \frac{32,24}{1 * 0,234^2} = 588,79 \rightarrow \rho = 0,0019 > \rho_{\text{min}}$$

$$A_{sl} = 0,0019 * 1000 * 234 = 446,6 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan lapangan Ø16 – 100 = 2011 mm²

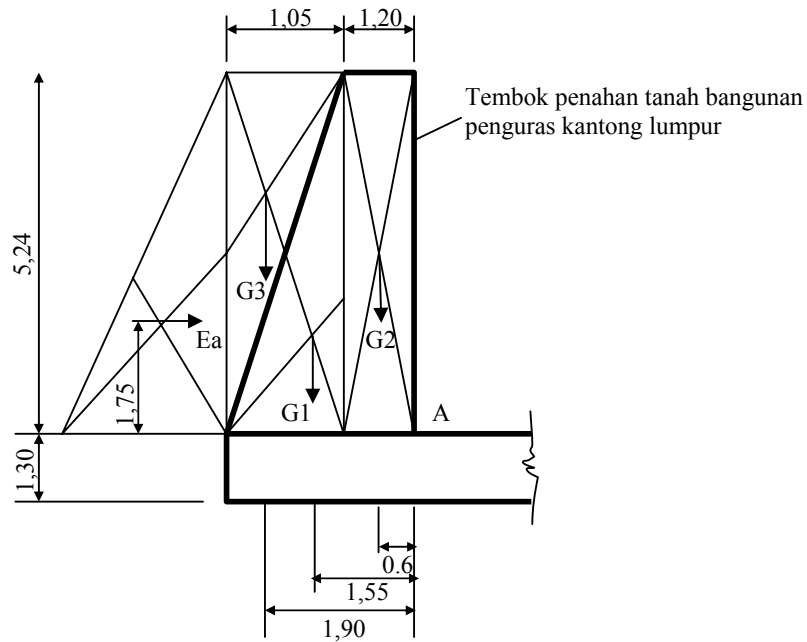
$$\text{Tulangan bagi} = A_s = \frac{0,18 * b * h}{100} = \frac{0,18 * 1000 * 300}{100} = 540 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan bagi Ø10 – 100 = 785 mm²

Untuk menahan geser diberi tulangan serong Ø12-200 pada tiap joint

6.4 Perhitungan Kestabilan Bangunan Pintu Penguras Kantong Lumpur

6.4.1 Perhitungan Kestabilan Tembok Penahan Tanah pada Bangunan Pintu Penguras Kantong Lumpur



Gambar 6.32 Beban Sendiri dan Tekanan Tanah pada Bangunan Penguras Kantong Lumpur

a. Gaya-gaya yang Bekerja

- Data tanah pondasi di pintu pengambilan Bendung Kaligending
Dari hasil pengeboran di titik BM-4 dihasilkan data tanah pondasi sebagai berikut :
 - Sudut geser dalam (ϕ) = $22,8^\circ$
 - Saturated density (γ_{sat}) = $1,753 \text{ t/m}^3$
 - Kohesi (c) = $0,033 \text{ kg/cm}^2$
 - SPT = 40 N
 - Pasir padat
- Skema gaya-gaya yang bekerja pada tembok penahan tersebut seperti terlihat pada gambar diatas.
- Besarnya tekanan tanah aktif dihitung berdasarkan rumus Coulomb sebagai berikut:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{sat}} \cdot h^2 \cdot \tan^2 (45^\circ - \phi/2) - 2 \cdot C \cdot h \cdot \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

- Disini terlihat bahwa faktor kohesi tanah (C) sangat kecil, karena nilai kohesi (C) = 0,033kg/cm² sangat kecil dan untuk selanjutnya pengaruh kohesi (C) diabaikan sehingga :

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{sat}} \cdot h^2 \cdot \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot 1,753 \cdot 5,24^2 \cdot 0,441425 = 10,624 \text{ ton}$$

- Besarnya gaya akibat berat sendiri tembok penahan :

$$G_1 = \frac{1,05 \cdot 5,241}{2} \cdot 2,35 = 6,465 \text{ ton}$$

$$G_2 = 1,20 \cdot 5,24 \cdot 2,35 = 14,777 \text{ ton}$$

- Besarnya berat urugan tanah dibelakang tembok penahan

$$G_3 = \frac{1,05 \cdot 5,24}{2} \cdot 1,753 = 4,823 \text{ ton}$$

- Perhitungan penulangan pada tembok penahan tanah

Tembok penahan tanah terbuat dari beton *cyclope*, untuk menahan susut dan perubahan suhu, disyaratkan didalam PBI-1971 harus dipasang tulangan susut minimal 0,25 % dari luas beton *cyclope* yang ada.

$$\text{Luas beton cyclope rata-rata} = \frac{225 + 120}{2} \cdot 100 \text{ cm}^2 = 17250 \text{ cm}^2$$

Sehingga luas tulangan susut yang diperlukan :

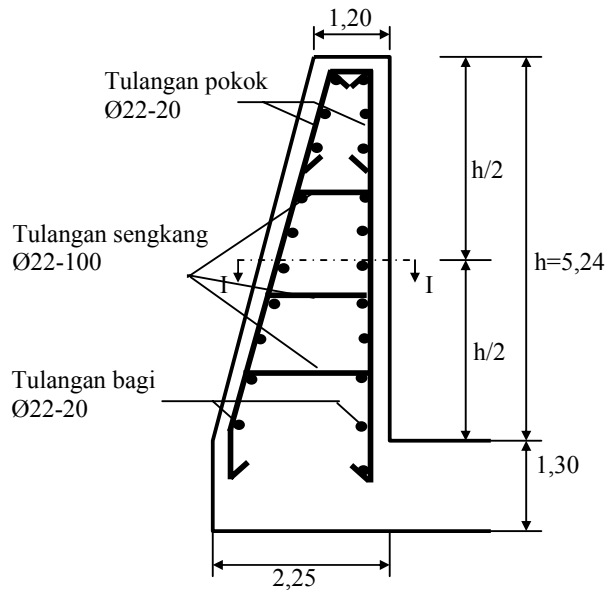
$$F_y = 0,25\% \cdot 17250 = 43,1251 \text{ cm}^2$$

$$\text{Digunakan 12 batang } \emptyset 22 \text{ mm} = 12 \cdot (1/4 \cdot 3,14 \cdot 2,2^2) = 45,612 \text{ cm}^2 > 43,1251 \text{ cm}^2.$$

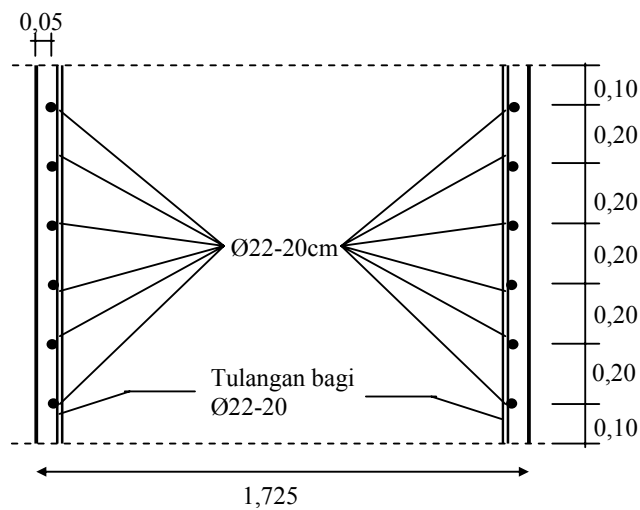
Dari 12 batang besi tulangan, 6 batang terpasang sebagai tulangan tarik seperti terlihat pada gambar.

$$\text{Luas besi tulangan 6 batang } \emptyset 25 \text{ mm} = 6 \cdot (1/4 \cdot 3,14 \cdot 2,5^2) = 29,438 \text{ cm}^2.$$

Besarnya tulangan pembagi diambil sama besar dengan tulangan vertikal dan tidak boleh kurang dari 0,25% luas beton yang ada. Untuk tulangan pembagi ini dipakai $\emptyset 22 - 20 \text{ cm}$.



Gambar 6.33 Penulangan Tembok Penahan Tanah Bangunan Pintu Penguras Kantong Lumpur



Gambar 6.34 Potongan I – I

6.4.2 Penulangan Slab Beton Pondasi

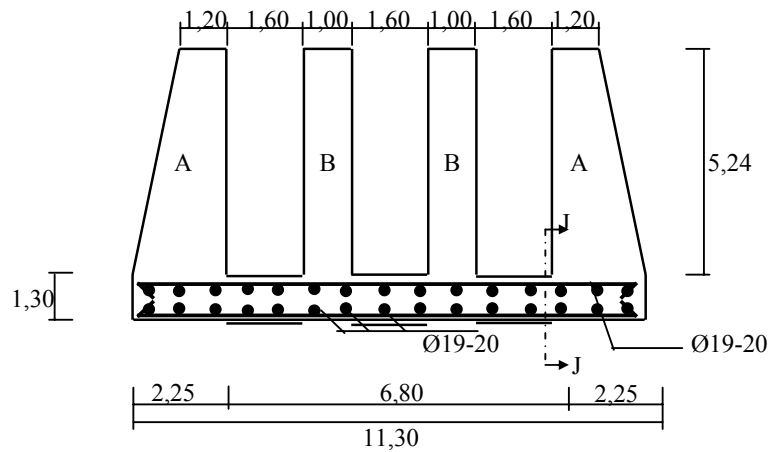
Slab beton pondasi setebal 130 cm terbuat dari beton *cyclope* diberi tulangan susut seperti halnya pada tembok penahan tanah yang ada di atasnya. Luas tulangan susut pada beton slab pondasi diambil sesuai dengan PBI 71, minimum 0,25% luas beton yang ada.

$$F_y = 0,25\% * 130 * 100 = 32,5 \text{ cm}^2$$

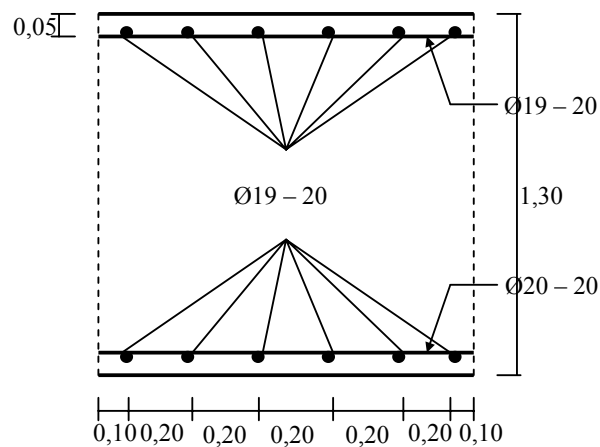
$$\text{Dipakai } 12 \text{ } \varnothing 19 \text{ mm} = 12 * 2,835 = 34,02 \text{ cm}^2 > 32,5 \text{ cm}^2$$

Tulangan pembagi juga dipakai 12 $\varnothing 19$ mm

Pemasangan tulangan susut pada slab pondasi seperti gambar berikut:

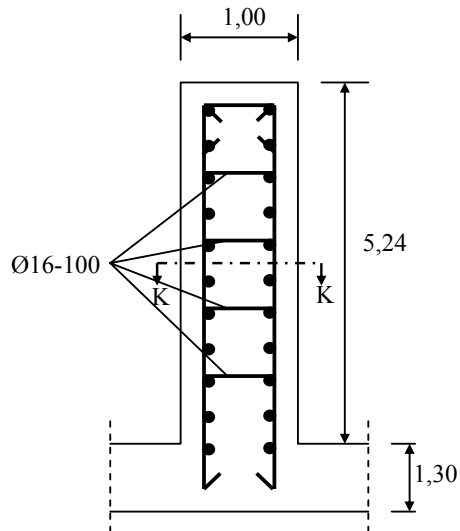


Gambar 6.35 Penulangan Slab Beton Pondasi Penguras Kantong Lumpur

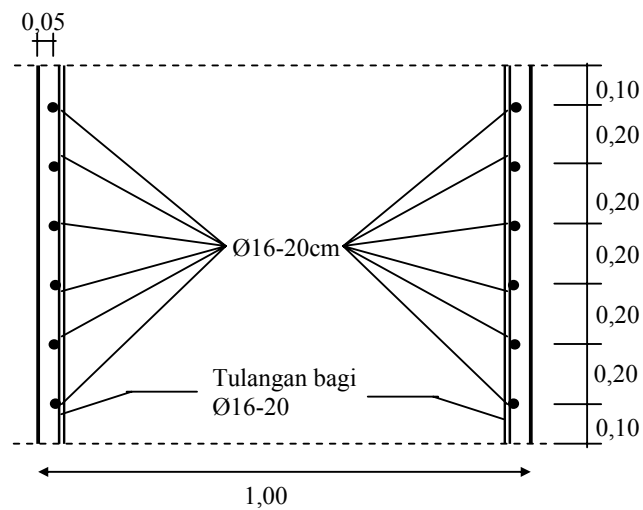


Gambar 6.36 Potongan J – J

6.4.3 Perhitungan Kestabilan Pilar B pada Bangunan Pintu Penguras Kantong Lumpur



Gambar 6.37 Penulangan Pilar B Bangunan Pintu Penguras Kantong Lumpur



Gambar 6.38 Potongan K – K

Pilar B ini mendapat tekanan dari gaya-gaya yang simetris dari kanan dan kirinya, sehingga pilar ini tidak akan terguling oleh adanya gaya-gaya yang bekerja padanya.

Sesuai dengan PBI 71, pilar yang terbuat dari beton *cyclope* ini diharuskan untuk dipasang tulangan susut seluas 0,25% luas penampang.

$$F_y = 0,25\% * 1,00 * 1,00 = 25 \text{ cm}^2$$

Dipakai 12 Ø 16 mm = 12 * 2,011 = 24,132 cm² dan tulangan pembagi sebanyak 12 Ø 16 mm – 20 cm.

6.4.4 Pemeriksaan Kestabilan Bangunan Pintu Penguras Kantong Lumpur Terhadap Daya Dukung Tanah Pondasi

Beban yang ditahan oleh tanah pondasi bangunan pintu penguras kantong lumpur adalah :

- Berat sendiri tembok penahan tanah kiri dan berat tanah urugan di belakang tembok penahan = 2*26,065 = 52,13 ton
- Berat pilar B = 2* 1,00*5,24*1,00 = 24,628 ton
- Berat beton slab pondasi = 1,30*11,30*1,00*2,35 = 34,52 ton
- Berat pintu air :
 - Berat stang = 2*Fstang*hstang*berat jenis baja
= 2*0,0007065*5,5*7800 = 60,62 kg
 - Berat daun pintu = h pintu*b pintu*t pintu*berat jenis kayu
= 0,85*1,80*0,06*800 = 73,44 kg
 - Berat sambungan = 20%*73,44 = 14,69 kg
 - Berat total pintu = 3*148,75 kg = 446,25 kg
 - Berat atap = 11*2,5*0,2*2,4 = 13,20 ton

Total berat bangunan = 124,924 ton

$$\text{Beban terhadap tanah pondasi} = \frac{124924 \text{ kg}}{100 * 1130 \text{ cm}^2} = 1,106 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan data tanah seperti pada pintu pengambilan, dari tabel koefisien daya dukung didapat :

$$N_c = 21,844$$

$$N_q = 10,381$$

$$N_\gamma = 7,176$$

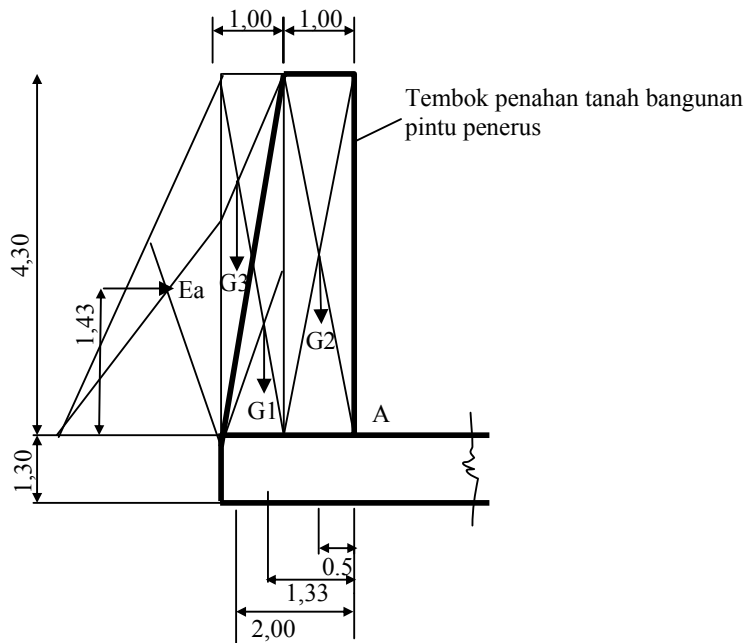
Sehingga :

$$q_{ult} = 0,033 * 21,844 + 1,753 * 6,54 * 10,381 + \frac{1}{2} * 1,753 * 9,50 * 7,176 \\ = 179,4879 \text{ t/m}^2 = 17,95 \text{ kg/cm}^2 > 1,106 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{aman.}$$

Dengan demikian tanah pondasi yang ada di lapangan cukup kuat menahan beban bangunan pintu pengambilan.

6.5 Perhitungan Kestabilan Bangunan Pintu Penerus

6.5.1 Perhitungan Kestabilan Tembok Penahan Tanah pada Bangunan Pintu Penerus



Gambar 6.39 Beban Sendiri dan Tekanan Tanah Bangunan Penerus

a. Gaya-gaya yang Bekerja

- Data tanah pondasi di pintu pengambilan Bendung Kaligending

Dari hasil pengeboran di titik BM-4 dihasilkan data tanah pondasi sebagai berikut :

- Sudut geser dalam (ϕ) = $22,8^{\circ}$
- Saturated density (γ_{sat}) = $1,753 \text{ t/m}^3$
- Kohesi (c) = $0,033 \text{ kg/cm}^2$
- SPT = 40 N
- Pasir padat

- Skema gaya-gaya yang bekerja pada tembok penahan tersebut seperti terlihat pada gambar diatas.
- Besarnya tekanan tanah aktif dihitung berdasarkan rumus Coulomb sebagai berikut:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{sat}} \cdot h^2 \cdot \tan^2 (45^\circ - \phi/2) - 2 \cdot C \cdot h \cdot \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

- Disini terlihat bahwa faktor kohesi tanah (C) sangat kecil, karena nilai kohesi (C) = 0,033kg/cm² sangat kecil dan untuk selanjutnya pengaruh kohesi (C) diabaikan sehingga :

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{sat}} \cdot h^2 \cdot \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot 1,753 \cdot 4,30^2 \cdot 0,441425 = 7,154 \text{ ton}$$

- Besarnya gaya akibat berat sendiri tembok penahan :

$$G_1 = \frac{1,00 \cdot 4,30}{2} \cdot 2,35 = 5,053 \text{ ton}$$

$$G_2 = 1,00 \cdot 4,30 \cdot 2,35 = 10,105 \text{ ton}$$

- Besarnya berat urugan tanah dibelakang tembok penahan

$$G_3 = \frac{1,00 \cdot 4,30}{2} \cdot 1,753 = 3,769 \text{ ton}$$

- Perhitungan penulangan pada tembok penahan tanah

Tembok penahan tanah terbuat dari beton *cyclope*, untuk menahan susut dan perubahan suhu, disyaratkan didalam PBI-1971 harus dipasang tulangan susut minimal 0,25 % dari luas beton *cyclope* yang ada.

$$\text{Luas beton cyclope rata-rata} = \frac{200 + 100}{2} \cdot 100 \text{ cm}^2 = 15000 \text{ cm}^2$$

Sehingga luas tulangan susut yang diperlukan :

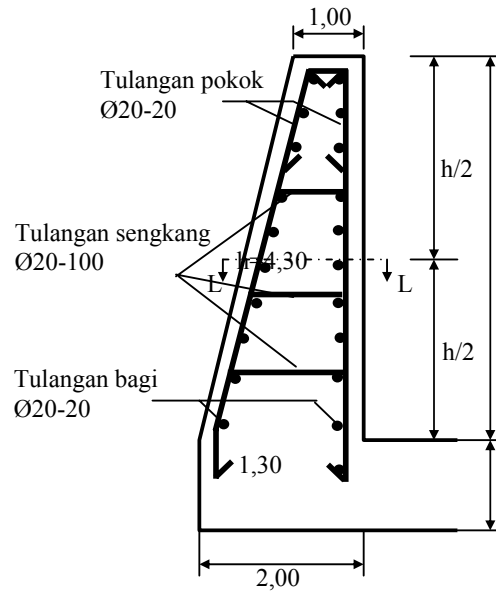
$$F_y = 0,25\% \cdot 15000 = 37,50 \text{ cm}^2$$

$$\text{Digunakan 12 batang } \varnothing 20 \text{ mm} = 12 \cdot (1/4 \cdot 3,14 \cdot 2,0^2) = 37,704 \text{ cm}^2 > 37,50 \text{ cm}^2.$$

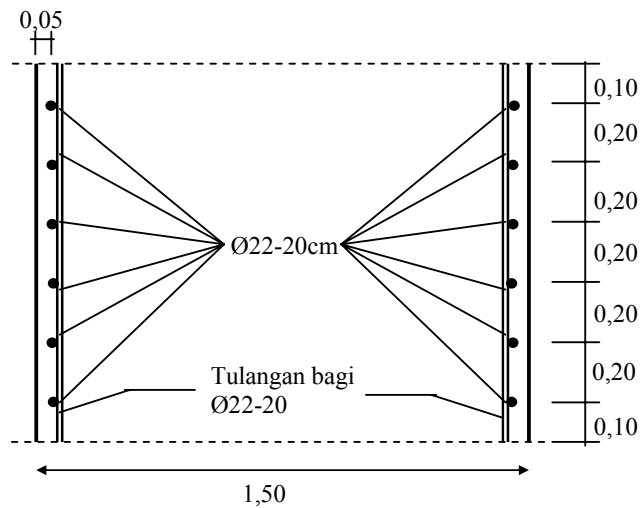
Dari 12 batang besi tulangan, 6 batang terpasang sebagai tulangan tarik seperti terlihat pada gambar.

$$\text{Luas besi tulangan 6 batang } \varnothing 20 \text{ mm} = 6 \cdot (1/4 \cdot 3,14 \cdot 2,0^2) = 18,852 \text{ cm}^2.$$

Besarnya tulangan pembagi diambil sama besar dengan tulangan vertikal dan tidak boleh kurang dari 0,25% luas beton yang ada. Untuk tulangan pembagi ini dipakai $\varnothing 20 - 20$ cm.



Gambar 6.40 Penulangan Tembok Penahan Tanah Bangunan Penerus



Gambar 6.41 Potongan L-L

6.5.2 Penulangan Slab Beton Pondasi

Slab beton pondasi setebal 130 cm terbuat dari beton cyclope diberi tulangan susut seperti halnya pada tembok penahan tanah yang ada di atasnya.

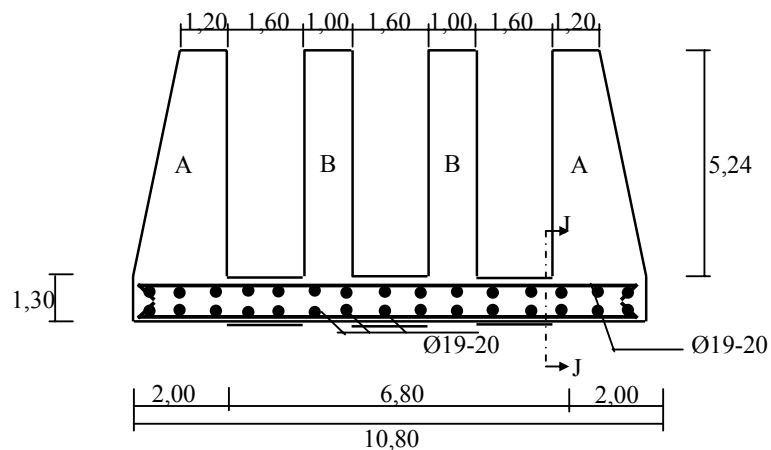
Luas tulangan susut pada beton slab pondasi diambil sesuai dengan PBI 71, minimum 0,25% luas beton yang ada.

$$F_y = 0,25\% * 130 * 100 = 32,5 \text{ cm}^2$$

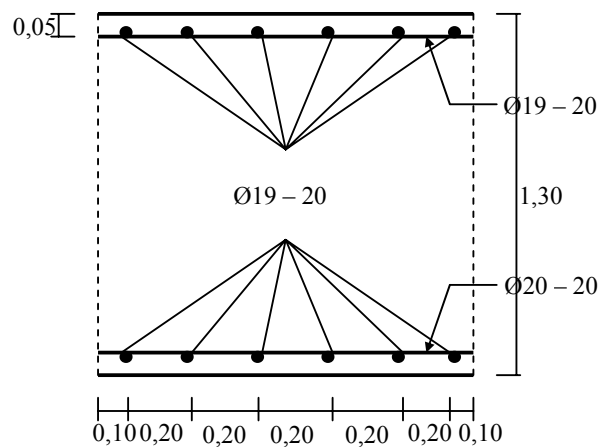
$$\text{Dipakai } 12 \text{ } \varnothing 29 \text{ mm} = 12 * 2,835 = 34,02 \text{ cm}^2 > 32,5 \text{ cm}^2$$

Tulangan pembagi juga dipakai 12 \varnothing 19 mm

Pemasangan tulangan susut pada slab pondasi seperti gambar berikut:

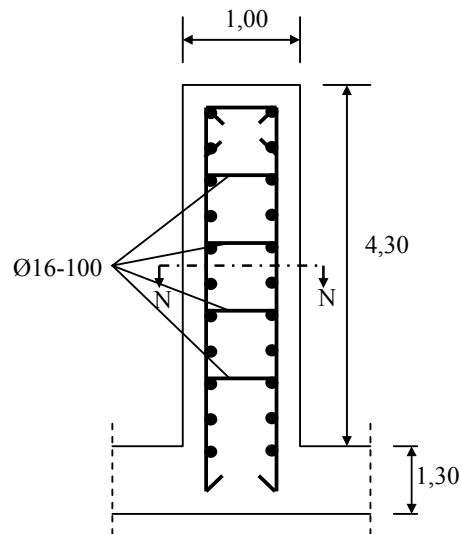


Gambar 6.42 Penulangan Slab Beton Pondasi Bangunan Penerus

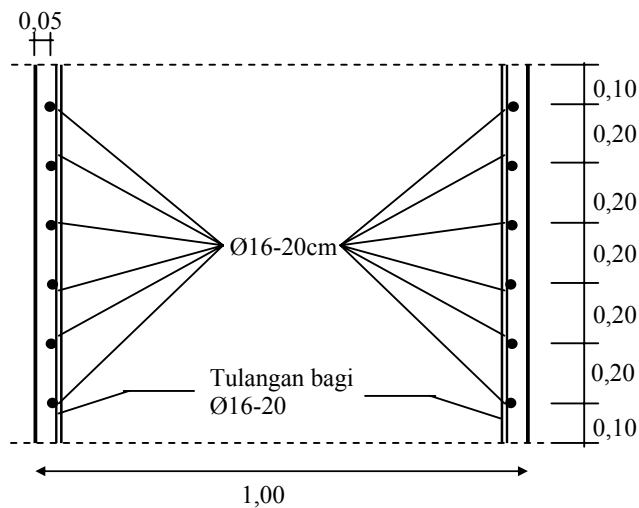


Gambar 6.43 Potongan M – M

6.5.3 Perhitungan Kestabilan Pilar B pada Bangunan Pintu Penerus



Gambar 6.44 Penulangan Pilar B Pintu Penerus



Gambar 6.45 Potongan N – N

Pilar B ini mendapat tekanan dari gaya-gaya yang simetris dari kanan dan kirinya, sehingga pilar ini tidak akan tergelinding oleh adanya gaya-gaya yang bekerja padanya.

Sesuai dengan PBI 71, pilar yang terbuat dari beton *cyclope* ini diharuskan untuk dipasang tulangan susut seluas 0,25% luas penampang.

$$F_y = 0,25\% * 1,00 * 1,00 = 25 \text{ cm}^2$$

Dipakai 12 Ø 16 mm = 12 * 2,011 = 24,132 cm² dan tulangan pembagi sebanyak 12 Ø 16 mm – 20 cm.

6.5.4 Pemeriksaan Kestabilan Bangunan Pintu Penerus Terhadap Daya Dukung Tanah Pondasi

Beban yang ditahan oleh tanah pondasi bangunan pintu penguras kantong lumpur adalah :

- Berat sendiri tembok penahan tanah kiri dan berat tanah urugan di belakang tembok penahan = 2*26,065 = 52,13 ton
- Berat pilar B = 2*1,00*5,24*1,00 = 24,628 ton
- Berat beton slab pondasi = 1,30*10,80*1,00*2,35 = 32.994 ton
- Berat pintu air :
 - Berat stang = 2*Fstang*hstang*berat jenis baja
= 2*0,0007065*5*7800 = 55,107 kg
 - Berat daun pintu = h pintu*b pintu*t pintu*berat jenis kayu
= 1,75 * 1,80*0,06*800 = 151,2 kg
 - Berat sambungan = 20%*151,2 = 30,24 kg
 - Berat total pintu = 3*236,547 kg = 709,64 kg
 - Berat atap = 10*2,5*0,2*2,4 = 12 ton

Total berat bangunan = 122,46 ton

$$\text{Beban terhadap tanah pondasi} = \frac{122460 \text{ kg}}{100 * 1080 \text{ cm}^2} = 1,134 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan data tanah seperti pada pintu pengambilan, dari tabel koefisien daya dukung didapat :

$$N_c = 21,844$$

$$N_q = 10,381$$

$$N_\gamma = 7,176$$

Sehingga :

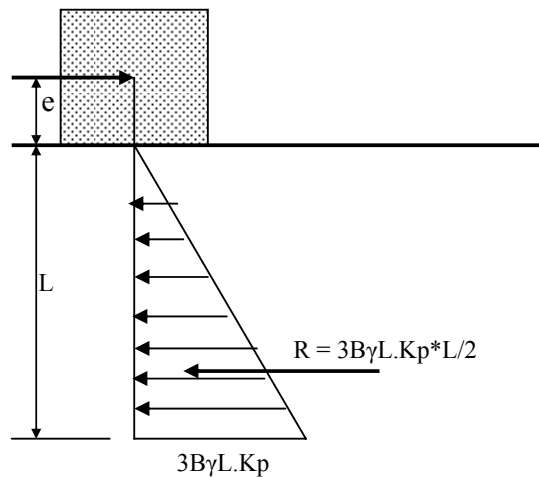
$$q_{ult} = 0,033 * 21,844 + 1,753 * 5,60 * 10,381 + \frac{1}{2} * 1,753 * 9,00 * 7,176$$

$$= 159,237 \text{ t/m}^2 = 15,92 \text{ kg/cm}^2 > 1,134 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{aman.}$$

Dengan demikian tanah pondasi yang ada di lapangan cukup kuat menahan beban bangunan pintu pengambilan.

6.6 Perhitungan Diafragma

Perhitungan dinding diafragma pada bendung diasumsikan sebagai pondasi tiang beban lateral dengan ujung tiang terjepit (*fixed head*).



Gambar 6.46 Freebody Diagram Tegangan

Freebody diagram tegangan untuk mencari besar H_u dan M_{maks} *fixed head* .

(Joetata dkk., 1997)

Besarnya H_u dicari dari keseimbangan gaya,

$$H_u = 1,5B\gamma L^2 K_p$$

Dimana;

H_u = Gaya horisontal maksimum

B = Lebar tiang (ditinjau per 1 m lebar tiang)

γ = berat isi tanah = $1,753 \text{ t/m}^3$

K_p = Koefisien tekanan tanah pasif, $\phi = 22,8^\circ$

$$= \tan^2(45^\circ + 22,8^\circ/2) = 2,265$$

L = Kedalaman tiang = 4 m

$$H_u = 1,5 * 1 * 1,753 * 4^2 * 2,265$$

$$= 95,29 \text{ ton}$$

Untuk menghitung berapa luas tulangan yang diperlukan harus diketahui besarnya

Mu yang terjadi pada tiang yaitu,

$$M_u = H_u * e = 95,29 * 1,6/2 = 95,29 * 0,8 = 76,23 \text{ ton.m}$$

Perhitungan penulangan mengacu pada SKSNI T-15-1991-03

Mutu beton (f'_c) = 25 Mpa

Mutu Baja (f_y) = 400 Mpa

Tebal tiang (h) = 850 mm

Penutup beton (c) = 50 mm

Ø sengkang = 8mm

1/2 Øsengkang = 8 mm

Total = 66 mm

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (d)} &= h - c - \text{Ø}_{\text{sengkang}} - 1/2 \text{Ø}_{\text{tul.ut.}} \\ &= 850 - 50 - 8 - 8 = 784 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{M_u}{b * d^2} = \frac{762,3}{1 * 0,784^2} = 1240,21$$

Dari tabel diperoleh $\rho = 0,0040 > \rho_{\text{min}} = 0,0018$

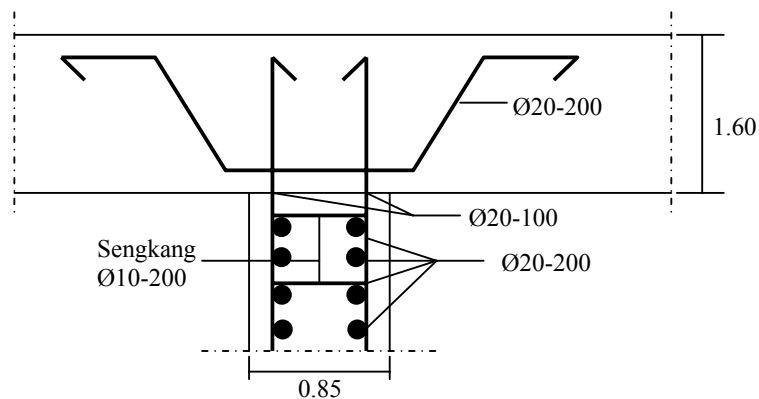
$$A_{st} = \rho * b * d = 0,0040 * 1000 * 784 = 3136 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan utama Ø20 – 100 = 3136 mm²

$$\text{Tulangan bagi} = A_s = \frac{0,18 * b * h}{100} = \frac{0,18 * 1000 * 850}{100} = 1530 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan bagi Ø20 – 200 = 1571 mm²

Untuk menahan geser diberi tulangan serong Ø20-200.



Gambar 6.47 Penulangan Dinding Diafragma

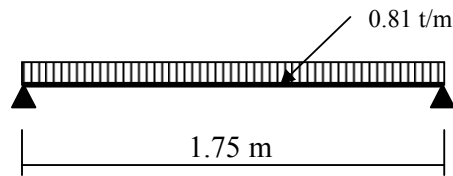
6.7 Perhitungan Breast Wall & Plat Pelayanan

- Beban

Plat dibebani oleh hidup dan beban mati.

- Beban hidup (w_l) ditentukan $200 \text{ kg/m}^2 = 0.2 \text{ t/m}^2$
- Beban mati (w_d) = $1 \cdot 0.17 \cdot 2.4 = 0.408 \text{ t/m}$

$$w_{d+l} = 1.2 \cdot 0.408 + 1.6 \cdot 0.2 = 0.81 \text{ t/m}$$



Gambar 6.48 Beban yang Bekerja Pada Plat Pelayanan

$$M_u = 1/8 \cdot 0.81 \cdot 1.75^2 = 0.31 \text{ tm} = 3.1 \text{ KNm}$$

- Perhitungan penulangan lapangan

Mutu beton (f'_c) = 25 Mpa

Mutu baja (f_y) = 400 MPa

Tebal plat = 170 mm

Tebal penutup beton (p) = 35 mm

Perkiraan diameter tulangan utama ($\emptyset p$) = 12 mm

Tinggi efektif (d) :

$$d = h - p - \frac{1}{2} \cdot \emptyset p = 170 - 35 - \frac{1}{2} \cdot 12 = 129 \text{ mm}$$

Momen lapangan :

$$\frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{3.1}{1.00 \cdot 0.129^2} = 186.29 \text{ KN/m}^2$$

Menurut Tabel Perencanaan Beton Bertulang didapat :

$$\rho = 0.0005; \rho_{\min} = 0.0018$$

$\rho < \rho_{\min}$, sehingga yang dipakai $\rho = 0.0018$

$$A_{sl} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.0018 \cdot 1.0 \cdot 0.129 = 0.00023 \text{ m}^2 = 232 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10 - 200 = 393 \text{ mm}^2$

Sesuai dengan SKSNI T15-1991-03, dalam arah tegak lurus terhadap tulangan utama harus disediakan tulangan pembagi (demi tegangan susut dan suhu):

$$\text{Untuk } f_y = 400 \text{ Mpa} = \frac{0,18 * b * h}{100}$$

Tulangan pembagi di lapangan

$$A_s = \frac{0,18 * 1000 * 170}{100} = 306 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan Ø10 – 200 = 393 mm²

- Perhitungan penulangan tumpuan

Momen tumpuan

$$\frac{Mu}{b * d^2} = \frac{3.1}{1,00 * 0,129^2} = 186.29 \text{ KN/m}^2$$

Menurut Tabel Perencanaan Beton Bertulang didapat :

$$\rho = 0,0005 < \rho_{\min} = 0,0018$$

$$A_{st} = 0,0018 * 1 * 0,129 * 10^6 = 232 \text{ mm}^2$$

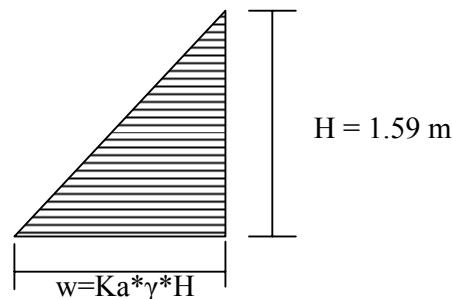
Dipakai tulangan Ø10 – 200 = 393 mm²

$$\text{Tulangan bagi} = A_s = \frac{0,18 * 1000 * 170}{100} = 540 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan Ø10 – 200 = 393 mm²

6.8 Perhitungan Penulangan Kantong Lumpur

- Beban



Gambar 6.49 beban pada kantong lumpur

Dari hasil pengeboran di titik BM-4 dihasilkan data tanah pondasi sebagai berikut:

- Sudut geser dalam $= 22,8^0$
 - Saturated density (γ_{sat}) = 1,753 t/m³
- $$K_a = \tan^2 (45^0 - \phi/2)$$
- $$= \tan^2 (45^0 - 22.8/2) = 0.441$$
- $$w = 0.441 * 1.753 * 1.59 * 1 = 1.229 \text{ t/m}$$
- $$M_u = 1/6 * w * H^2 = 1/6 * 1.229 * 1.59^2 = 0.52 \text{ tm} = 5.2 \text{ KNm}$$

- Perhitungan penulangan lapangan

Mutu beton ($f'c$) = 25 Mpa

Mutu baja (f_y) = 400 MPa

Tebal plat = 200 mm

Tebal penutup beton (p) = 35 mm

Perkiraan diameter tulangan utama ($\emptyset p$) = 12 mm

Tinggi efektif (d) :

$$d = h - p - \frac{1}{2} * \emptyset p = 200 - 35 - \frac{1}{2} * 12 = 159 \text{ mm}$$

Momen lapangan :

$$\frac{M_u}{b * d^2} = \frac{5.2}{1,00 * 0,159^2} = 205.7 \text{ KN/m}^2$$

Menurut Tabel Perencanaan Beton Bertulang didapat :

$$\rho = 0.0005; \rho_{\text{min}} = 0.0018$$

$\rho < \rho_{\text{min}}$, sehingga yang dipakai $\rho = 0,0018$

$$A_{sl} = \rho * b * d * 10^6$$

$$= 0,0018 * 1,0 * 0,159 * 10^6 = 286.2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan } \emptyset 10 - 200 = 393 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SKSNI T15-1991-03, dalam arah tegak lurus terhadap tulangan utama harus disediakan tulangan pembagi (demi tegangan susut dan suhu):

$$\text{Untuk } f_y = 400 \text{ Mpa} = \frac{0,18 * b * h}{100}$$

Tulangan pembagi di lapangan

$$A_s = \frac{0,18 * 1000 * 200}{100} = 360 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan } \emptyset 10 - 200 = 393 \text{ mm}^2$$