

## BAB III

### KOLAM PENENANG / HEAD TANK

#### 3.1 KONDISI PERENCANAAN

Kolam penenang direncanakan berupa tangki silinder baja, berfungsi untuk menenangkan air dari outlet headrace channel. Volume tampungan direncanakan dapat melayani operasi turbin PLTA minimum selama 2 (dua) menit.

Kolam penenang dilengkapi penggelontor sedimen dan pelimpah.

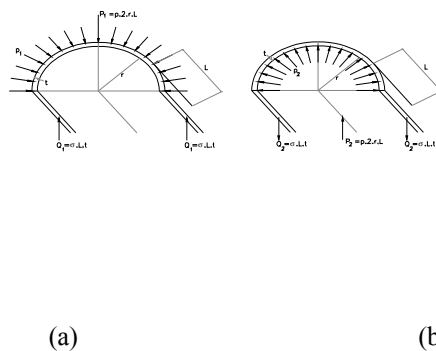
Diameter dalam	:	30,0 m.
Tinggi	:	15,25 m.
Beban rencana (Beban dalam)	:	HSWL + 386,95 HWL + 386,00 m
Koefisien gempa	:	0,15 (sampai tinggi 10 m) $0,15 + 0,15 \times 0,01 h$ (setelah tinggi 10 m)
Tekanan angin pada bidang datar	:	300 kg/m <sup>2</sup>
Koefisien tekanan angin pada bidang silindris	:	0,7
Material untuk dinding dan stiffener	:	J IS SM 41 B
Lain-lain	:	J IS SS 41
Tegangan ijin	:	1300,0 kg/cm <sup>2</sup>
Effisiensi las	:	90,0 %
Karat ijin	:	2,0 mm
Variasi temperatur	:	40° C
Tebal dinding minimum	:	6,0 mm

Pada pekerjaan ini tidak dilakukan penyelidikan tanah. Data tanah yang dipergunakan adalah data yang diperoleh dari laporan Feasibility Study Wampu Hydroelectric Power Project yang dilaksanakan oleh Japan International Cooperation Agency (JICA) December 1992. Menurut laporan tersebut, investigasi geologi untuk lokasi power house, termasuk lokasi head tank dan route penstock, dilakukan pengeboran tanah dan pengujian SPT di bagian hulu pertemuan S. Wampu dengan Laun Besangkal di dekat Baturambat. Notasi titik bor masing-masing adalah BUP-118, BUP-119, dan BUP-120 dengan kedalaman masing-masing 130 m, 40 m, dan 130 m. SPT di lokasi BUP-118 sedalam 5 m, di BUP-119 sedalam 15 m, di BUP-120 sedalam 12 m, masing-masing telah mencapai nilai  $N > 40$

### 3.2 TEBAL DINDING HEAD TANK

#### Akibat beban dalam:

Tegangan cirumferential (kecuali pada stiffener)



Gambar 3.1 Tegangan cirumferential pada head tank  
(a) Akibat tekanan urugan tanah (setelah konstruksi) pada dinding tangki di bawah permukaan tanah:

$$\sigma_H = \frac{p.(r + t - \varepsilon)}{(t - \varepsilon)}$$

di mana:

- p = tekanan tanah aktif (kg/cm<sup>2</sup>)
- r = jari-jari dalam tangki (cm)
- t = tebal dinding tangki (cm)
- ε = karat ijin (cm)

(b) Akibat tekanan hidrostatik air dalam tangki di atas permukaan tanah:

$$\sigma_H = \frac{p.(r - \varepsilon)}{(t - \varepsilon)}$$

di mana:

- p = tekanan hidrostatik dalam tangki (kg/cm<sup>2</sup>)
- r = jari-jari dalam tangki (cm)
- t = tebal dinding tangki (cm)
- ε = karat ijin (cm)

Tegangan circumferential pada stiffener ring

$$\sigma_H = \frac{p \cdot r_i \cdot 1,56 \cdot \sqrt{r_m(t - \varepsilon) + (t_1 - \varepsilon)}}{(t - \varepsilon)(1,56 \sqrt{r_m(t - \varepsilon) + (t_1 - \varepsilon)}) + (t_1 - \varepsilon)((h + \varepsilon) + (t_2 - \varepsilon)(b - \varepsilon))}$$

di mana:

- D = diameter dalam (cm)
- $r_i$  = jari-jari dalam (cm)
- t = tebal dinding head pond (cm)
- $\varepsilon$  = karat ijin (0,20 cm)
- p = tekanan dalam (kg/cm<sup>2</sup>)

Tegangan ijin

$$\sigma_a = 1.300 \times 0,9 = 1.170 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tanah yang diizinkan

$$\begin{aligned} C &= 0,22 \text{ t/m}^2 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 1,87 \text{ ton/m}^2 \\ \phi &= 32,0^\circ \\ B &= 20,00 \text{ m} \\ D_f &= 10,0 \text{ m} \\ \text{Ohsaki} \\ N_c &= 5,34 ; N_\gamma = 12 \\ N_q &= 16 \\ Q_{\text{ult}} &= C \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \\ &= 0.22 \times 5,34 + 1,87 \times 10 \times 16 + 0 \\ &= 300,32 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan tanah yang diijinkan} = Q = Q_{\text{ult}} / 3 = 100,12 \text{ T/M}^2$$

Tekanan tanah aktif

$$\delta = \phi = 32,0^\circ ; \theta = 0 ; \alpha = 0$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2 \theta \cdot \cos(\theta + \delta) \cdot \left\{ 1 + \sqrt{\left( \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \cos(\theta - \alpha)} \right)^2} \right\}^2}$$

$$K_a = \frac{\cos^2(32,0 - 0)}{\cos^2 0 \cdot \cos(0 + 32,0) \cdot \left\{ 1 + \sqrt{\left( \frac{\sin(32,0 + 32,0) \sin(32,0 - 0)}{\cos(0 + 32,0) \cos(0 - 0)} \right)^2} \right\}^2}$$

$$K_a = \frac{0,7191}{1,0 \times 0,8480 \left\{ 1 + \sqrt{\left( \frac{0,8987 \times 0,5299}{0,8480 \times 1,00} \right)^2} \right\}}$$

$$K_a = 0,277$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan tanah aktif} &= P = \gamma_s \times K_a \times h \\ &= 1,87 \times 0,277 \times 10^{-1} \times h \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

Tegangan karena berat sendiri

$$\sigma_p = \frac{W_s \cdot L}{A} \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

di mana

$$\begin{aligned} W_s &= \text{berat dinding kolam di atas titik tinjau (t/m)} \\ L &= \text{jarak dinding dari pucak kolam (m)} \\ A &= \text{Luas potongan dinding kolam (cm}^2\text{)} \\ &= (D + t)(t - \varepsilon) \end{aligned}$$

- Tegangan axial

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_f$$

- Tegangan lentur karena tegangan pemuaian dinding tangki akibat stiffener ring (ring pengaku)

$$\sigma_f = \pm 1,82 \frac{(t_1 - \varepsilon)(h + \varepsilon) + (t_2 - \varepsilon)(b - \varepsilon)}{(t - \varepsilon)[1,56\sqrt{r_m(t - \varepsilon)} + (t_1 - \varepsilon)] + (t_1 - \varepsilon)(h + \varepsilon) + (t_2 - \varepsilon)(b - \varepsilon)} \times \frac{p \cdot r_i}{(t - \varepsilon)}$$

- Tegangan equivalent

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2 + 3\tau^2}$$

$\sigma_g$  = tegangan equivalent (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_1$  = tegangan circumferential (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_1 = \sigma_H$

$\sigma_2$  = tegangan axial (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_2 = \sigma$

$\tau$  = tegangan geser (kg/cm<sup>2</sup>)

$\tau = 0$

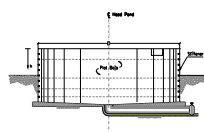
Tegangan ijin

$\sigma_a = 1.300 \times 0,9 = 1.170 \text{ kg/cm}^2$  (kecuali pada stiffener ring)

$\sigma_a = 1.300 \times 1,35 \times 0,9 = 1.579 \text{ kg/cm}^2$  (pada stiffener ring)

**Akibat beban luar:**

- Tegangan pada dinding kolam karena beban luar
    - Akibat tekanan statis (pada dinding kolam di atas tanah)
      - Akibat beban angin
- Tekanan angin yang bekerja pada kolam penenang di atas turunan tanah seperti gambar berikut:



Gambar 3.2 Pembebanan akibat tekanan statis  
Momen pada ketinggian  $h_m$  adalah:

$$M_w = \frac{N}{2} \cdot h^2 \quad (\text{tm})$$

di mana  $N = C \cdot W \cdot D$

$W$  = tekanan angin pada bidang datar =  $0,3 \text{ t/m}^2$   
 $C$  = Koefisien tekanan angin pada bid. silindris =  $0,7$   
 $D$  = diameter luar kolam (m)

Tegangan akibat beban angin

$$\sigma_{bw} = \pm \frac{M_w}{z} \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$M_w$  = momen akibat beban angin

$z$  = momen tahan kolam ( $\text{cm}^3$ )

$$z = \frac{\pi}{32} \left[ \frac{(D + 2t - \varepsilon)^4 - (D + \varepsilon)^4}{D + 2t - \varepsilon} \right]$$

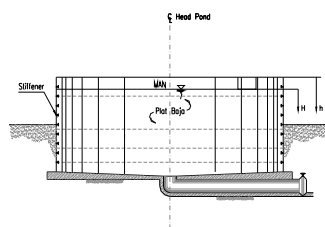
Tegangan ijin

$$\sigma_a = 1.300 \times 0,9 \times 1,5 = 1,755 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1.300 \times 1,5 = 1.950 \text{ kg/cm}^2 \text{ (pada bagian terbawah)}$$

- Akibat beban gempa

Beban gempa yang bekerja pada dinding kolam di atas permukaan tanah :



Gambar 3.3 Pembebanan akibat beban gempa

Momen lentur pada tinggi H (m)

$$M_q = \int_{h=H}^{h=Ht} (W_s + M_w) n \cdot (h - H) d_h \quad (\text{tm})$$

$W_s$  = berat dinding di atas titik tinjau (t/m)

$W_w$  = berat air =  $\frac{1}{4} n D^2$  (t/m)

$n$  = koefisien gempa

$n = 0,15$  untuk  $0 \leq h \leq 10m$

$n = 0,15 + 0,15 + 0,01 \times (h - 10)$  untuk  $h \geq 10m$

Tegangan akibat gempa adalah:

$$\sigma_{bg} = \pm \frac{M_q}{z} \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$z = \frac{\pi}{32} \left[ \frac{(D + 2t - \varepsilon)^4 - (D + \varepsilon)^4}{D + 2t - \varepsilon} \right]$$

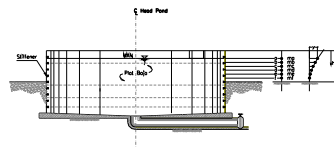
Tegangan ijin

$$\sigma_a = 1.300 \times 0,9 \times 1,5 = 1.755 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1.300 \times 1,5 = 1.950 \text{ kg/cm}^2 \text{ (pada bagian terbawah)}$$

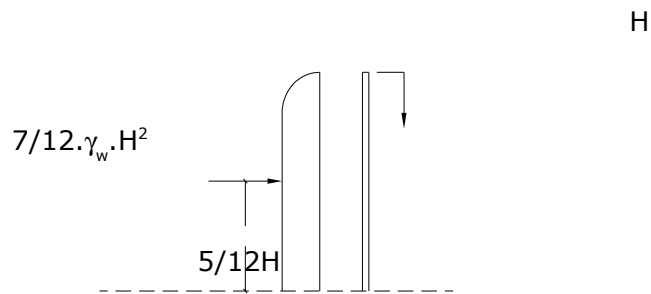
- Akibat tekanan dinamis

Dianggap kolam terdiri dari batang-batang terjepit dengan banyak partikel masif seperti gambar berikut:



Gambar 3.4 Pembebanan akibat tekanan dinamis

Tegangan lentur yang diakibatkan oleh momen dinamis pada dinding di atas permukaan tanah ialah:



Gambar 3.5 Tekanan lentur head tank

$$M_d = \frac{7}{12} \cdot \gamma_w \cdot H^2 \times \frac{5}{12} \cdot H$$

$$\sigma_{bd} = \pm \frac{Md}{z} \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$M_d$  = momen lentur karena gaya dinamis (tm)

$\gamma_w$  = berat jenis air (1 t/m<sup>3</sup>)

$H$  = tinggi air (m)

$z$  = momen tahanan dari tangki baja (cm<sup>3</sup>)

Tegangan ijin

$$\sigma_a = 1.300 \times 0,9 \times 1,5 = 1,755 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1.300 \times 1,5 = 1.950 \text{ kg/cm}^2 \text{ (pada bagian terbawah)}$$

- Tegangan axial maksimum

$$\sigma_t = \sigma_{bd} + \sigma_p \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

di mana:



$\sigma_t$  = tegangan axial maksimum (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bd}$  = tegangan lentur akibat momen dari gaya dinamis (kg/cm<sup>2</sup>)

Tegangan ijin

$$\sigma_a = 1.300 \times 0,9 \times 1,5 = 1,755 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1.300 \times 1,5 = 1.950 \text{ kg/cm}^2 \text{ (pada bagian terbawah)}$$

- Tegangan equivalent:

Dihitung dengan Hencky Huber formula:

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_t^2 - \sigma_H \sigma_t + 3\tau^2}$$

$\sigma_g$  = tegangan equivalent (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_H$  = tegangan circumferential pada stiffener ring (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_t$  = tegangan axial akibat tekana axial maksimum (kg/cm<sup>2</sup>)

$\tau$  = tegangan geser (kg/cm<sup>2</sup>)

Tegangan ijin

$$\sigma_a = 1.300 \times 0,9 \times 1,5 = 1.155 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1.300 \times 1,5 = 1.579 \text{ kg/cm}^2 \text{ (pada bagian terbawah)}$$

- Momen buckling kritis dari dinding kolam  
Dihitung dengan Brazier's formula

$$M_k = \alpha \cdot \frac{E}{1 - \nu^2} \cdot r(t - \varepsilon)^2 \quad (\text{tm})$$

$$\alpha = 0,72$$

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

$$\nu = \text{poisson ratio} = 0,3$$

$$r = \text{jari-jari kolam} \quad (\text{cm})$$

$$t = \text{tebal dinding kolam} \quad (\text{cm})$$

$$\varepsilon = \text{karat ijin} \quad (\text{cm})$$

Jika  $M_k > M_d$ , maka dinding kolam adalah aman terhadap buckling

- Tegangan geser karena gaya luar
  - Tegangan geser karena gaya-gaya statis
  - Tegangan geser karena beban angin
- Gaya geser pada tinggi H m adalah

$$S_w = W (45 - H) \text{ ton}$$

di mana

W = tekanan angin pada bidang datar  
 C = Koefisien tekanan angin pada bidang silindris = 0,7  
 D = diameter luar kolam (m)

Gaya geser maksimum adalah:

$$\tau_w \text{ maks} = \frac{2xS_w}{A} \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

di mana

$$A = \text{luas penampang dinding kolam} \quad (\text{cm}^2)$$

Tegangan ijin :

$$\tau_w = 750 \times 0,9 \times 1,5 = 1.013 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_w = 750 \times 1,5 = 1.125 \text{ kg/cm}^2 \text{ (pada bagian terbawah)}$$

- Tegangan geser dinding di atas urugan tanah karena beban gempa  
 Gaya geser pada tinggi H m adalah

$$S_g = \int_{h=H}^{h=Ht} (W_s + W_w) n \cdot d_h \quad \text{ton}$$

di mana

$$W_s = \text{berat dinding di atas titik tinjau} \quad (\text{t/m})$$

$$W_w = \text{berat air} = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (\text{t/m})$$

n = koefisien gempa

$$n = 0,15 \text{ untuk } 0 \leq h \leq 10m$$

$$n = 0,15 + 0,15 + 0,01 \times (h-10) \text{ untuk } h \geq 10m$$

Tegangan geser maximum adalah

$$\tau_g \text{ maks} = \frac{2xS_g}{A} \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

di mana

$$A = \text{luas penampang dinding kolam} \quad (\text{cm}^2)$$

Tegangan ijin :

$$\tau_w = 750 \times 0,9 \times 1,5 = 1.013 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_w = 750 \times 1,5 = 1.125 \text{ kg/cm}^2 \text{ (pada bagian terbawah)}$$

- Tegangan geser karena gaya-gaya dinamis  
Gaya geser maximum adalah

$$\tau_d \text{ maks} = \frac{2xSd}{A} \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

di mana

$$A = \text{luas penampang dinding kolam} \quad (\text{cm}^2)$$

Tegangan ijin :

$$\tau_w = 750 \times 0,9 \times 1,5 = 1.013 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_w = 750 \times 1,5 = 1.125 \text{ kg/cm}^2 \text{ (pada bagian terbawah)}$$

Hasil perhitungan dari tebal dinding kolam akibat beban dalam (seluruh tangki berada di bawah timbunan tanah) dan tegangan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Tegangan dinding tangki akibat beban dalam

Titik No.	t (cm)	T1 (cm)	t2 (cm)	h (cm)	b (cm)	Tegangan akibat gaya Dalam (kg/cm <sup>2</sup> )		
						$\sigma_H$	$\sigma$	$\sigma_g$
1	1.9	-	-	-	-	1217.63	185.98	177.60
2	1.7	-	-	-	-	1195.99	216.68	1013.84
3	1.5	1	1	5	5	964.42	235.00	871.02
4	1.2	1	1	5	5	963.92	352.78	844.71
5	1	1	1	5	5	862.91	455.01	747.67
6	0.8	-	-	-	-	883.67	758.78	828.32
7	0.6	-	-	-	-	670.66	1232.19	1068.50
8	0.6	-	-	-	-	223.55	477.22	413.56

Tegangan tanah yang terjadi:

Beban-beban yang bekerja:

Berat dinding tanki	$= 30 \times \pi \times (0,019+0,006)/2 \times 15,5 \times 7,6$		
	$=$		138,84 ton
Berat pelat dasar	$= 0,012 \times \pi \times 15^2 \times 7,6$	ton	$=$ 64,49 ton
Berat lantai kerja	$= 0,10 \times \pi \times 15^2 \times 2,4$	ton	$=$ 169,71 ton
Berat air	$= \pi \times 15^2 \times 15,5 \times 1$	ton	$=$ 10.968,71 ton
			<hr/>
Beban yang bekerja			$=$ 11.333,75 ton

$$\text{Tegangan tanah yang terjadi} = 11.333,75/(\pi \times 15^2) = 16,02 \text{ t/m}^2 \text{ (Ok)}$$

### 3.3 PELIMPAH SAMPING DAN SALURAN PEMBUANG

Pelimpah samping direncanakan dibuat dari beton bertulang sedangkan saluran pembuangnya dari batu kali dan tanah galian. Saluran ini akan membuang air dari tangki akibat air balik (back water) pada saat terjadi penutupan tiba-tiba pintu turbin sebelum pintu pemasukan air di bendung ditutup.

Dimensi pelimpah dapat diperoleh dengan rumus hidrolika :

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2}$$

di mana :

Q	=	debit (m <sup>3</sup> /det)
C	=	koefisien limpahan (2,0)
L	=	lebar pelimpah (m)
H	=	Tinggi tekan air di atas pelimpah (m)

a. Saluran pelimpah samping:

Perhitungan-perhitungan hidrolika saluran pelimpah samping digunakan rumus J. Hinds sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_x &= q \cdot x \\ v &= a \cdot x^n \\ y &= \frac{n+1}{n} \cdot h_v \end{aligned}$$

di mana :

- $Q_x$  = debit pada titik x ( $m^3/det$ )
- $q$  = debit per unit lebar pelimpah (m)
- $x$  = jarak antara tepi udik dengan titik tinjau lain di pelimpah (m)
- $v$  = kecepatan rata-rata aliran di saluran pembawa di titik tinjau (m/det)
- $a$  = koefisien kecepatan aliran di saluran pembawa
- $n$  = exponent kecepatan aliran di saluran pembawa (0,4 s/d 0,8)
- $y$  = perbedaan elevasi antara mercu pelimpah dengan permukaan air disaluran pembawa di titik tinjau (m)
- $h_v$  = tinggi tekan kecepatan aliran ( $h_v = \frac{v^2}{2g}$ )

#### Penyesuaian bentuk dasar saluran pembawa

Apabila bentuk penampang memanjang dasar saluran dibuat berdasarkan hasil perhitungan yang merupakan garis lengkung, konstruksinya akan cukup sulit. Untuk menghindari kesulitan, bentuk penampang dasar saluran pembawa disesuaikan, yaitu dengan mengubah dasar saluran dari hasil perhitungan yang berbentuk lengkung menjadi garis lurus. Penyesuaian tersebut dilakukan dengan menghubungkan ujung hilir garis lengkung dengan titik yang terletak antara 1/3 s/d 1/10 dari panjang pelimpah dan diukur dari ujung udik garis lengkung tersebut.

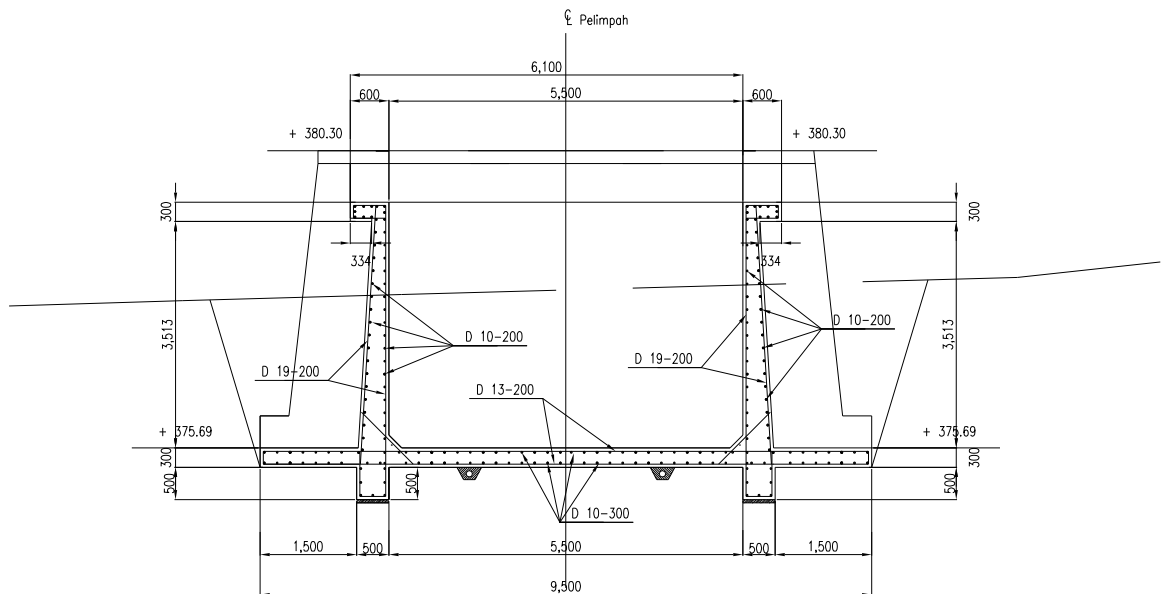
Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Perhitungan hidrolika saluran pelimpah

Q = 37.000 m<sup>3</sup> a = 0.460 q = 1.852 m<sup>3</sup>/m  
 L = 19.980 m n = 0.600 b = 4.000 m  
 H = 0.950 m Manning 0.010 z = 0.000

x (m)	n v = ax	Q =q .x	A =Q/v	d =A/b	P =b +2d	dl =(m)	R =A/P	R rata2	v Rata2	hf (m)	Hf (m)	y =2,66 hv	D =d+y	D+Hf (m)	Jarak dari puncak
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	4.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.677
1.0	0.460	1.852	4.026	1.006	6.013	1.000	0.670	0.335	0.230	0.505	0.505	0.007	1.014	1.519	1.847
2.0	0.697	3.704	5.312	1.328	6.656	1.000	0.798	0.734	0.579	0.139	0.644	0.045	1.373	2.017	2.017
3.0	0.889	5.556	6.247	1.562	7.124	1.000	0.877	0.838	0.793	0.153	0.292	0.085	1.647	1.939	2.188
4.0	1.057	7.408	7.009	1.752	7.505	1.000	0.934	0.905	0.973	0.169	0.322	0.128	1.881	2.203	2.358
5.0	1.208	9.259	7.664	1.916	7.832	1.000	0.979	0.956	1.133	0.184	0.353	0.174	2.090	2.443	2.529
6.0	1.348	11.111	8.244	2.061	8.122	1.000	1.015	0.997	1.278	0.199	0.383	0.222	2.283	2.665	2.699
7.0	1.478	12.963	8.768	2.192	8.384	1.000	1.046	1.030	1.413	0.213	0.411	0.271	2.463	2.874	2.869
8.0	1.602	14.815	9.249	2.312	8.624	1.000	1.072	1.059	1.540	0.226	0.439	0.322	2.634	3.073	3.040
9.0	1.719	16.667	9.695	2.424	8.848	1.000	1.096	1.084	1.660	0.240	0.466	0.374	2.798	3.264	3.210
10.0	1.831	18.519	10.112	2.528	9.056	1.000	1.117	1.106	1.775	0.253	0.492	0.428	2.956	3.448	3.380
11.0	1.939	20.371	10.505	2.626	9.253	1.000	1.135	1.126	1.885	0.265	0.518	0.482	3.109	3.627	3.551
12.0	2.043	22.223	10.878	2.719	9.439	1.000	1.152	1.144	1.991	0.278	0.543	0.538	3.257	3.800	3.721
13.0	2.144	24.075	11.231	2.808	9.616	1.000	1.168	1.160	2.093	0.290	0.568	0.595	3.403	3.971	3.891
14.0	2.241	25.926	11.569	2.892	9.785	1.000	1.182	1.175	2.192	0.302	0.593	0.652	3.545	4.137	4.062
15.0	2.336	27.778	11.893	2.973	9.947	1.000	1.196	1.189	2.288	0.314	0.617	0.711	3.684	4.301	4.232
16.0	2.428	29.630	12.204	3.051	10.102	1.000	1.208	1.202	2.382	0.326	0.641	0.770	3.821	4.462	4.402
17.0	2.518	31.482	12.504	3.126	10.252	1.000	1.220	1.214	2.473	0.338	0.664	0.830	3.956	4.620	4.573
18.0	2.606	33.334	12.793	3.198	10.396	1.000	1.231	1.225	2.562	0.350	0.688	0.891	4.089	4.776	4.743
19.0	2.692	35.186	13.073	3.268	10.536	1.000	1.241	1.236	2.649	0.361	0.711	0.952	4.220	4.931	4.913
20.0	2.776	37.038	13.343	3.336	10.672	1.000	1.250	1.246	2.734	0.373	0.734	1.014	4.350	5.084	5.084

b. Penulangan saluran pelimpah samping:



POTONGAN E-E

Gambar 3.6 Penulangan pelimpah samping  
Dinding saluran pelimpah :

$$\begin{aligned}\text{Tekanan tanah aktif } P &= \frac{1}{2} \cdot \gamma_s \times K_a \times h^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,97 \times 0,277 \times 5^2 \\ &= 6,82 \text{ t/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M \text{ maks} &= 6,82 \times 5/3 \text{ tm} = 11,36 \text{ tm} \\ D &= 6,82 \text{ ton} \\ N &= (0,50+0,20)/2 \times 5,0 \times 2,40 \text{ t} = 4,20 \text{ ton} \\ H &= 50 \text{ cm} \\ B &= 100 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tulangan D19 - 200} \quad \rightarrow \quad A &= 14,18 \text{ cm}^2 \\ \sigma_b &= 51,6 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_y &= 1501 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_b &= 1,30 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tulangan bagi : } 20 \% \times A &= 2,84 \text{ cm}^2 \text{ dipakai tulangan bagi} \\ \text{D13 - 200} \quad A &= 5,65 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Dasar saluran pelimpah :

$$\begin{aligned}\text{Berat dinding saluran} &= (0,50+0,20)/2 \times 2 \times 5,0 \times 2,40 \text{ t} = 8,40 \text{ t} \\ \text{Berat dasar saluran} &= 0,20 \times 4,0 \times 1 \times 2,40 \text{ t} = 1,92 \text{ t} \\ \text{Reaksi permukaan tanah} &= (8,40 + 1,92) \text{ t}/(4 \times 1) \text{ m}^2 = 2,58 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$M \text{ maks} = 1/12 \times 2,58 \times 4^2 = 3,44 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{1}{2} \times 2,58 \times 4 = 5,16 \text{ ton} \\
 N &= 6,82 \text{ ton} \\
 h &= 20 \text{ cm} \\
 b &= 100 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tulangan D 13 - 200} \quad \rightarrow \quad A &= 5,65 \text{ cm}^2 \\
 \sigma_b &= 71,3 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_y &= 1695 \text{ kg/cm}^2 \\
 \tau_b &= 2,0 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tulangan bagi : } 20 \% \times A &= 1,13 \text{ cm}^2 \text{ dipakai tulangan bagi} \\
 \text{D10 - 300} \quad A &= 2,62 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$