

Studi Perencanaan Kolam Olak Tipe Bak Tenggelam Pada Peredam Energi Bendung, Jl. Terusan Kecubung, Kota Malang

Nicodemus Nitanel Kause¹, Dian Noorvy Khaerudin², Kiki Frida³
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tunggaladewi Malang
Email : deny.kause@yahoo.com

ABSTRACT

Energy dampers are part of the weir that serves to dampen the energy of the water flow through the weir. Most of the dam damages in Indonesia are caused by the local scouring that occurs continuously downstream of the weir. The local scour is caused by considerable potential energy due to the differences in water level upstream and downstream of the weir. Local scours occurring downstream of the weirs caused by high water levels from damming, endanger the construction of the weir itself. To prevent deep scouring of long energy dampers, a new energy damper is planned. The main factor of the deep scouring on the downstream of the dam is the energy damper that has not functioned optimally. In this research used damper type energy sink. In the design of energy damper, based on flood water level +108,884 m, elevation of weir of +108,244 m, height of 2.5 m and flow rate 2,4217 m / sec found the condition of super critical flow during flood water and for dimension of energy damper: 8.25 m hydraulic jumping length, 1.86 m wake length, 2.75 m tube fingers and 2.35 m foundation depth. From the stable stability analysis of the dam to the bolsters, shear, the carrying capacity of the soil and the building does not decrease due to the load or soil stress that occurs.

Keywords ; dams ; energy dampers ; hydraulic analysis ; stability.

1. PENDAHULUAN

Dalam pengelolaan suatu jaringan sistem irigasi, diperlukan bangunan-bangunan air yang mendukung. Salah satu dari bangunan air tersebut adalah bendung. Bendung adalah bangunan dengan kelengkapannya yang dibangun melintang sungai atau sudetan yang sengaja dibuat untuk meninggikan taraf muka air sehingga dapat mengalir ke saluran atau jaringan berikutnya.

Pada bendung, aliran air akan mengalami loncatan hidrolis dimana loncatan hidrolis akan dipakai sebagai peredam energi pada bendung untuk mencegah penggerusan pada bagian hilir bendung, untuk menaikkan kembali tinggi energi atau permukaan air pada daerah hilir

saluran pengukur, dan juga menjaga agar permukaan air saluran irigasi tetap tinggi.

Masalah yang sering dijumpai pada bangunan bendung adalah terjadinya gerusan di hilir yang disebabkan oleh kondisi sungai yang diperkirakan membawa batu-batu besar yang terangkut lewat atas bendung dan kandungan energi yang tinggi serta aliran super kritis karena perubahan kemiringan mercu bendung, sehingga perlu direncanakan peredam energi yang relatif pendek.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan nilai Y_1 , Y_c , Y_2 dan kondisi aliran.
2. Untuk mendapatkan nilai R , L_j , L_d dan tinggi (h)
3. Untuk mendapatkan nilai H_d , H_e , dan jenis aliran.

4. Menghasilkan stabilitas terhadap guling dan geser yang aman.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Terdapat beberapa tipe aliran dalam aliran saluran terbuka. Penggolongan tipe aliran berdasarkan perubahan kedalaman aliran sesuai dengan waktu dan ruang. Secara garis besarnya penggolongan aliran saluran terbuka yaitu aliran tetap (*steady flow*) dan aliran tidak tetap (*unsteady Flow*), (Yushar, 2010). Aliran dalam saluran terbuka dikatakan tetap jika kedalaman aliran tidak berubah selama jangka waktu tertentu. Aliran dikatakan tidak tetap jika kedalamannya berubah tidak sesuai dengan waktu.

Berdasarkan pengaruh gaya tarik bumi aliran dibedakan menjadi aliran sub kritis, kritis, dan super kritis (Anonim.,1989). Aliran disebut sub kritis apabila gangguan (misalnya batu dilemparkan ke dalam aliran sehingga menimbulkan gelombang) yang terjadi di suatu titik pada aliran dapat menjalar ke arah hulu. Aliran sub kritis dipengaruhi oleh kondisi hilir, dengan kata lain keadaan di hilir akan mempengaruhi aliran di sebelah hulu. Apabila kecepatan aliran cukup besar sehingga gangguan yang terjadi tidak menjalar ke hulu maka aliran disebut super kritis. Dalam hal ini kondisi di hulu akan mempengaruhi aliran di sebelah hilir. Apabila kecepatan aliran cukup besar sehingga gangguan yang terjadi tidak menjalar ke hulu maka aliran adalah super kritis. Penentuan tipe aliran dapat didasarkan pada nilai bilangan Froude (Fr), yang mana jika $Fr < 1$ maka kondisi aliran sub kritis, $Fr = 1$ kondisi aliran kritis dan $Fr > 1$ kondisi aliran super kritis.

Konsep energi spesifik diperkenalkan oleh (Bakhmeteff, 1989). Konsep ini sangat berguna bagi penerapan persamaan Bernoulli. Yang dimaksud dengan energi spesifik adalah tinggi tenaga pada sembarang tampang diukur dari dasar saluran, atau tenaga tiap satuan berat air pada sembarang tampang diukur dari dasar saluran.

Loncatan hidrolis terjadi apabila suatu aliran berubah dari kondisi super kritis ke kondisi sub kritis secara mendadak. (Ven Te Chow., 1978). Loncatan hidrolis yang terjadi pada dasar horizontal terdiri dari beberapa tipe. Tipe-tipe tersebut dapat dibedakan berdasarkan bilangan *Froude* (Fr), yaitu :

1. (Fr) = 1 loncatan tetap.
2. (Fr) = 1 s-d 1,7 loncatan berombak.
3. (Fr) = 1,7 s-d 2,5 loncatan lemah.
4. (Fr) = 2,5 loncatan berisolasi.
5. (Fr) = 4,5 loncatan tetap.
6. (Fr) = 9 loncatan kuat.

Aliran air yang mengalir melintasi bangunan pelimpah mempunyai kecepatan yang tinggi dalam kondisi super kritis. Aliran air tersebut mengandung energi dengan daya penggerus yang sangat kuat. Energi aliran ini harus direldusi hingga mencapai tingkat yang normal kembali ke dalam sungai tanpa membahayakan kestabilan alur sungai yang bersangkutan.

Dalam memilih tipe bangunan peredam energi sangat bergantung kepada berbagai faktor antara lain (KP 02-2010):

1. Tinggi pembendungan;
2. Jenis angkutan sedimen yang terbawa aliran sungai;

3. Kemungkinan degradasi dasar sungai yang akan terjadi di hilir bendung;
4. Bilangan Froude.

Menurut (Anonim 1. , 1986), jika kedalaman kongjugasi hilir dari loncat air terlalu tinggi dibandingkan kedalaman air normal hilir, atau kalau diperkirakan akan terjadi kerusakan pada lantai kolam yang panjang akibat batu-batu besar yang terangkut lewat atas bendung, maka dapat dipakai peredam energi yang relatif pendek tetapi dalam perilaku hidrolis peredam energi tipe ini terutama bergantung kepada terjadinya kedua pusaran: Satu pusaran permukaan bergerak ke arah berlawanan dengan jarum jam di atas bak, dan satu pusaran permukaan bergerak ke arah putaran jarum jam dan terletak dibelakang ambang ujung.

Konstruksi lantai peredam yang telah direncanakan harus dikontrol stabilitasnya terhadap gaya – gaya yang bekerja, baik dalam kondisi normal maupun gempa (Sosrodarsono, S., (1983)). Analisa stabilitas yang dilakukan terhadap konstruksi lantai peredam anergi meliputi :

1. Stabilitas terhadap guling;
2. Stabilitas terhadap geser;
3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah.

Lokasi yang direncanakan dipilih sungai Jl. Terusan Kecubung, Perumahan Landungsari Indah.



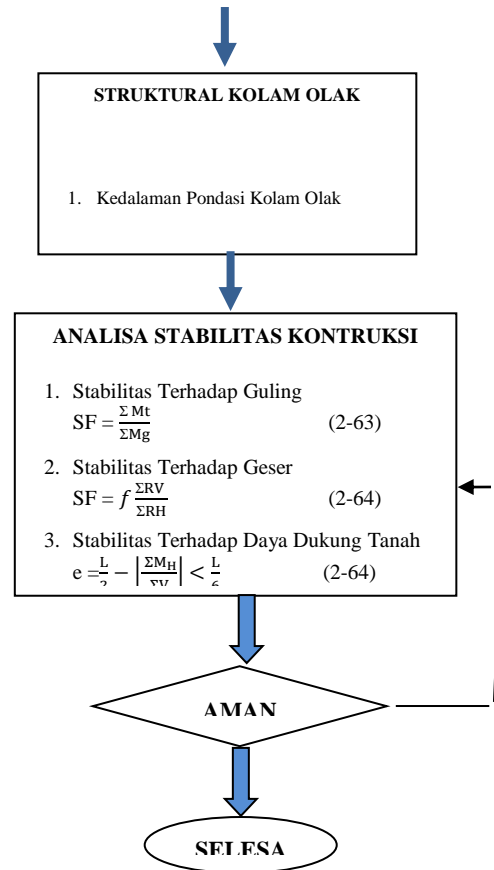
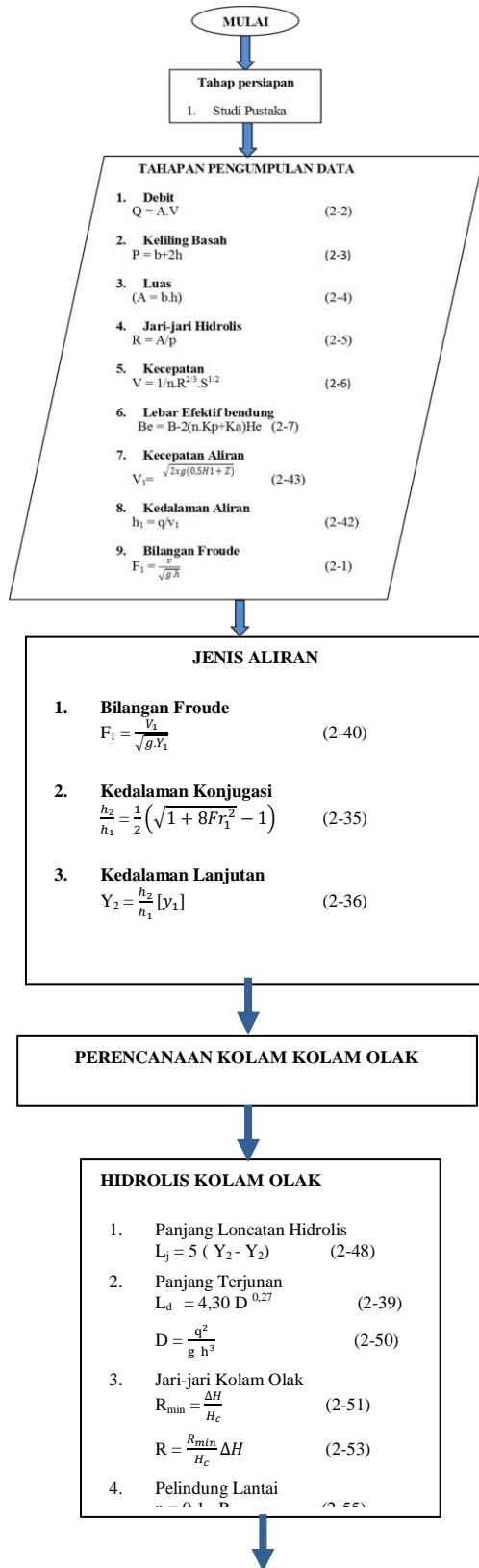
Sumber : Google Earth

Gambar 1. Lokasi Penelitian

Secara geografis Kota Malang terletak pada koordinat $112^{\circ} 06'$ - $112^{\circ} 07'$ bujur timur dan $7^{\circ}06'$ - $8^{\circ}02'$ Lintang Selatan. Kota Malang dikelilingi oleh gunung-gunung yaitu Gunung Arjuno di sebelah utara, Gunung Semeru di sebelah timur, Gunung Kawi dan Panderman di sebelah barat serta Gunung Kelud di sebelah selatan.

Berdasarkan hasil survei yang dilakukan di lokasi, dapat ditarik kesimpulan mengenai kondisi fisik pada bendung yang ada pada Jl. Terusan Kecubung, Landungsari sebagai berikut yaitu terjadi penurunan dasar sungai sepanjang ± 5 meter di hilir bendung yang diakibatkan oleh adanya gerusan air yang semakin deras sehingga merusak peredam energi pada bendung tersebut. Dari situasi tersebut dikhawatirkan akan adanya aliran air di bawah bendung yang akan mengakibatkan bertambah dalamnya palung di hilir bendung sehingga daya dukung tanah pun berkurang dan dapat menyebabkan bendung rusak. Selain itu, rasa kurang perhatian dari masyarakat yang tidak mengikuti aturan dapat merusak morfologi sungai dan membahayakan keberadaan bendung yang ada pada Jl. Terusan Kecubung, Landungsari. Oleh karena itu perlu tindakan terpadu dan terkoordinasi guna mewujudkan penanganan masalah secara optimal.

Kerangka Penelitian



Gambar 2. Kerangka Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Kondisi Aliran

b (m)	Yc (m)	A(m ²) (bxy)	P(m) (b+2y)	R(m) (A/P)	R ^{2/3}	V(m/dt) (1.49R ^{2/3} S ^{1/2})	Q(m ³ /dt) (VxA)	P ^{2/3} (kg)	E b+(P ^{2/3} (kg))	Fr V/(gD)	Kondisi Aliran
10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	Tetap
10	0.1	1	10.2	0.098	0.211	0.7040	0.704	0.031	0.13	0.792	SUB KRITIS
10	0.2	2	10.4	0.192	0.331	1.2313	2.463	0.077	0.28	0.879	SUB KRITIS
10	0.3	3	10.6	0.283	0.429	1.5952	4.786	0.130	0.43	0.930	SUB KRITIS
10	0.4	4	10.8	0.370	0.514	1.9102	7.641	0.186	0.59	0.964	SUB KRITIS
10	0.5	5	11	0.455	0.590	2.1912	10.956	0.245	0.74	0.989	SUB KRITIS
10	0.59	5.9	11.18	0.528	0.652	2.4217	14.288	0.299	0.89	1.007	SUPER KRITIS
10	0.6	6	11.2	0.536	0.658	2.4461	14.677	0.305	0.90	1.008	SUPER KRITIS
10	0.7	7	11.4	0.614	0.721	2.6013	18.762	0.366	1.07	1.023	SUPER KRITIS
10	0.8	8	11.6	0.690	0.780	2.8972	23.178	0.428	1.23	1.034	SUPER KRITIS
10	9	90	28	3.214	2.186	8.1254	731.285	3.365	12.37	0.865	SUPER KRITIS

Perencanaan Kolam Olak

Data :

Elevasi Dasar Kolam Olak : + 104,744 m

Elevasi Mercu Bendung : + 108,244 m

$$H_1 : 0,89 \text{ m}$$

$$Q : 14,288 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B_e : 7,22 \text{ m}$$

- Perhitungan Debit Per Satuan Lebar (q)

$$q = \frac{Q}{B_e} = 1,98 \text{ m}^3/\text{dt}$$

- Tinggi jatuh (Z)

Z = Elevasi mercu bendung – Elevasi dasar kolam olak + Hc = 4,09 m

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, bilangan froude 6,60 sehingga menghasilkan kondisi aliran super kritis. Sesuai KP-02 2010 jika kondisi aliran di hilir bendung menghasilkan kondisi super kritis maka diperlukan perencanaan kolam olak.

Jika dilihat dari Bilangan Froude yang ada pada hilir bendung, bisa digunakan peredam energi tipe USBR tetapi dilihat dari kondisi bendung yang rendah serta aliran sungai yang membawa batu-batu besar maka dalam perencanaan ini digunakan kolam olak tipe bak tenggelam.

- Perhitungan Kecepatan Aliran Awal Loncatan (V_1)

$$V_1 = \sqrt{2xg(0,5H_1 + Z)} = 9,433 \text{ m/dt}$$

- Perhitungan Tinggi Loncatan (Y_1)

$$Y_1 = \frac{q}{v_1} = 0,21 \text{ m}$$

- Perhitungan Bilangan Froude

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot Y_1}} = 6,60 \text{ (Super Kritis)}$$

- Perhitungan Beda tinggi Loncatan air

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) = 8,85 \text{ m}$$

- Kedalaman Lanjutan (Y_2)

$$Y_2 = \frac{h_2}{h_1} (Y_1) = 1,86 \text{ m}$$

Perhitungan Hidrolis Kolam Olak Tipe Bak Tenggelam

1) Panjang Loncatan Hidrolis

Panjang loncatan hidrolis dapat didefinisikan sebagai jarak antara permukaan depan loncatan hidrolis sampai suatu titik pada permukaan depan suatu gulungan ombak yang menuju ke hilir. Yang mana bisa dihitung dengan rumus berikut:

$$L_1 = 5 (Y_2 - Y_1) = 8,25 \text{ m}$$

1) Panjang Terjunan

$$D = \frac{q^2}{g \cdot p^3} = 0,03 \text{ m}$$

$$L_{d1} = 4,30 D^{0,27} = 1,86 \text{ m}$$

1) Jari-jari Kolam Olak

$R_{\min} = \frac{\Delta H}{H_c} = 6,93 \text{ m} \rightarrow 1,62 \text{ m}$ (sesuai gambar grafik jari-jari minimum bak yang telah ditentuka USBR $R_{\min} = 1,62 \text{ m}$)

$$R = \frac{R_{\min}}{H_c} = 2,75 \text{ m}$$

2) Batas Minimum Tinggi Air di Hilir

$$\frac{T_{\min}}{H_c} = \frac{\Delta H}{H_c} = 6,93 \text{ m} \rightarrow$$

$T_{\min} = 1,7 \left[\frac{\Delta H}{H_c} \right]^{0,33}$ (sesuai gambar grafik Tinggi minimum air yang telah ditentukan USBR didapatkan

$T_{min} = 1,7 \left[\frac{\Delta H}{H_c} \right]^{0,33} T_{min} = 3,22 \text{ m} > Y_2$
 $= 1,86 \text{ m}$ maka untuk perencanaan kolam digunakan kedalaman minimum air di hilir bendung (Y_2).

3) Perhitungan Elevasi Dasar Kolam Olakan Rencana

Elevasi dasar kolam olak yang direncanakan

= Elevasi dasar kolam olak - r

= + 102,791 m

2) Perhitungan tinggi Air dihilir Bendung

$T = (\text{El dasar hilir bendung} - \text{El dasar dasar kolam olak}) + Y_2 = 3,81 \text{ m}$

Struktural Kolam Olak

➤ Kedalaman gerusan dibawah permukaan banjir (R)

$R = 1,18 \cdot H^{0,25} \cdot q^{0,51} = 1,938 \text{ m}$

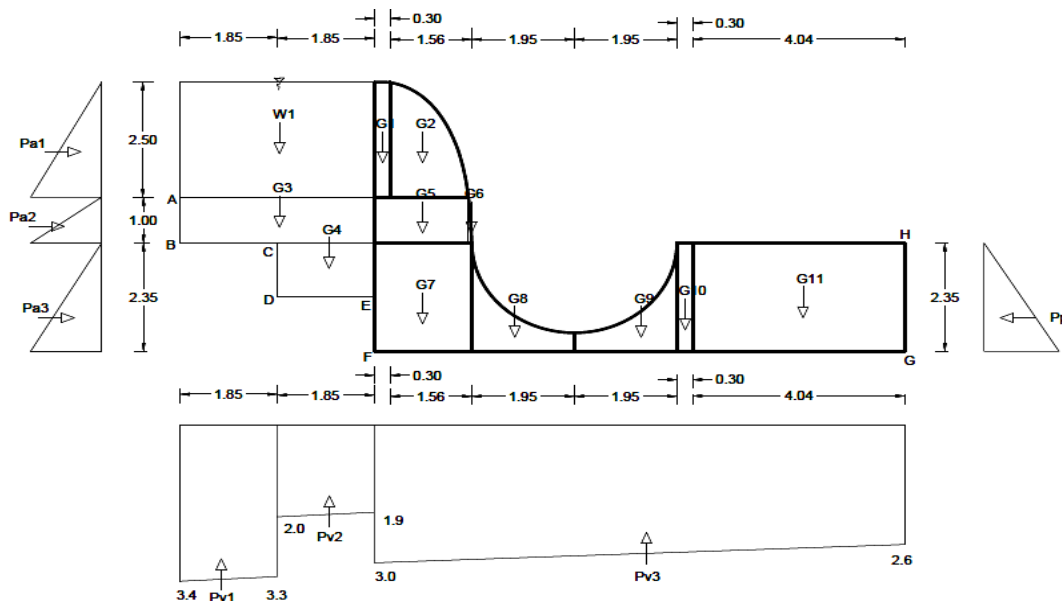
➤ Kedalaman Pondasi Kolam Olak

$t = 1,2(R) = 2,35 \text{ m}$

Perhitungan Stabilitas

Stabilitas perlu dianalisis untuk mengetahui apakah kontruksi bangunan ini kuat atau tidak, agar diperoleh bendung yang benar-benar stabil, kokoh dan aman. Perhitungan stabilitas bendung perlu dicari besarnya gaya-gaya yang berusaha mengangkat dan mendorong bendung dari kedudukannya, perhitungan dilakukan dengan meninjau keamanan dari pasangan tubuh bendung terhadap adanya bahaya guling, geser dan daya dukung tanah.

Perhitungan Stabilitas Dihitung pada kondisi Muka Air Normal dan Muka Air Banjir. Perhitungan dapat dilihat pada gambar 3 dan tabel 1.



Gambar 3. Konstruksi stabilitas pada kondisi air banjir

Tabel 2. Perhitungan Gaya-gaya Selama Debit Normal

Gaya	Luas x Tekan	Gaya (kN)	Sudut Titik G Lengan		Momen
			HORIZONTAL		
Pa1	$((1/2) * (2,5^2)) * 9,81$	30,6563	-2,52	-77,25	
Pa2	$((1/2) * (1^2)) * 22$	11	-2,02	-22,22	
Pa3	$((1/2) * (2,35^2)) * 20$	55,225	-0,783	-43,24	
Pp	$((1/2) * (2,35^2)) * 20$	55,225	-0,783	-43,24	
		152,11			-185,96
VERTIKAL					
G1	$0,3 * 2,5 * 22$	16,5	-9,66	-159,39	
G2	$(2/3 * 1,17) * 2,5 * 22$	42,9	-7,86	-337,19	
G3	$1 * 3,7 * 22$	81,4	-8,26	-672,36	
G4	$(1,85 * 1,18) * 22$	48,026	-9,19	-441,36	
G5	$(1,47 * 1) * 22$	32,34	-7,91	-255,81	
G6	$(2/3 * 0,39) * 1 * 22$	5,72	-8,06	-46,10	
G7	$1,86 * 2,35 * 22$	96,162	-7,32	-703,91	
G8	$(2/3 * 1,95) * 2,35 * 22$	67,21	-5,1	-336,05	
G9	$(2/3 * 1,95) * 2,35 * 22$	67,21	-3,05	-204,99	
G10	$(0,3 * 2,35) * 22$	15,51	-0,85	-13,18	
G11	$(2,35 * 4,05) * 22$	209,385	-0,45	-94,22	
W1	$2,5 * 3,7 * 9,81$	90,74	-8,26	-749,53	
Pv1	$((1/2 * 3,4 + 3,3) * 1,85 * 9,81)$	90,74	11,04	1001,80	
Pv2	$((1/2 * 2 + 1,9) * 1,85 * 9,81)$	52,63	11,04	581,04	
Pv3	$((1/2 * 3 + 2,6) * 10,11 * 9,81)$	406,63	5,06	2057,57	
Jumlah		1323,11			-2431,27

➤ Kontrol Stabilitas Bendung Pada Kondisi Air Normal

1. Kontrol stabilitas terhadap guling

$$S_f = \frac{\sum Mv}{\sum Mh} > 1,5 = \frac{-2431,27}{-185,96} = 13,07 \text{ ton/m}^2 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

2. Kontrol stabilitas terhadap geser (dengan $f = 0,5$)

$$S = f \times \frac{R_v}{R_H} = 0,5 \times \frac{1323,11}{152,11} = 4,35 \text{ ton/m}^2 > 1,5 \text{ Aman}$$

3. Kontrol stabilitas terhadap daya dukung tanah panjang telapak pondasi = 13,81 m.

Eksentrisitas:

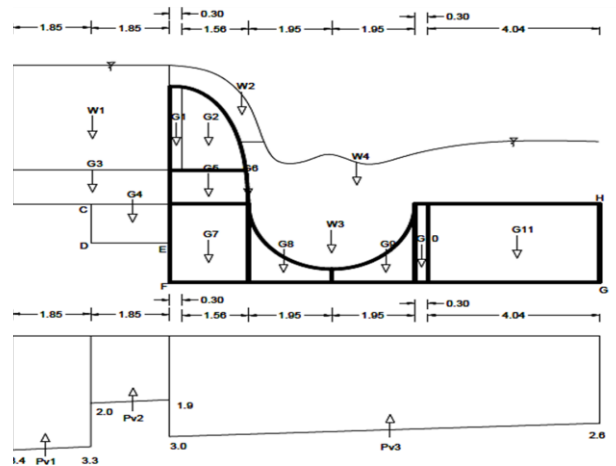
$$e = (L/2) - ((\sum Mh + \sum Mv) / \sum Rv) = 6,91 - ((-2431,27 + (-185,96)) / 1323,11) = 4,49 \text{ m} > 1/6 \times L = 2,30 \rightarrow \text{OK}$$

Tekanan tanah :

$$\sigma_{\max} = \frac{\sum Rv}{L} \left(1 + \frac{6e}{L} \right) = \frac{1323,11}{13,81} \left(1 + \frac{6 \times 4,93}{13,81} \right) = 300,84 \text{ kN/m}^2$$

$$S = \frac{qu}{\sigma_{\max}} = \frac{600}{300,84} = 1,99 \text{ ton/m}^2 > 1,5 \text{ Aman}$$

Perhitungan stabilitas pada saat kondisi air banjir dapat dilihat pada gambar 4 dan tabel 3



Tabel 3. Perhitungan Gaya-gaya Selama Terjadi Banjir Pada Bendung.

Gaya	Luas x Tekan	Gaya (kN)	Sudut Titik G Lengan		Momen
			HORIZONTAL		
Pa1	$((1/2) * (3,14^2)) * 9,81$	48,3613	-2,3	-111,23	
Pa2	$((1/2) * (1^2)) * 22$	11	-1,52	-16,72	
Pa3	$((1/2) * (2,35^2)) * 15$	41,41875	-0,617	-25,56	
Pp	$((1/2) * (5,21^2)) * 15$	203,58075	-1,403	-285,62	
		304,36			-439,13
VERTIKAL					
G1	$0,3 * 2,5 * 22$	16,5	-9,66	-159,39	
G2	$(2/3 * 1,17) * 2,5 * 22$	42,9	-7,86	-337,19	
G3	$1 * 3,7 * 22$	81,4	-8,26	-672,36	
G4	$(1,85 * 1,18) * 22$	48,026	-9,19	-441,36	
G5	$(1,47 * 1) * 22$	32,34	-7,91	-255,81	
G6	$(2/3 * 0,39) * 1 * 22$	5,72	-8,06	-46,10	
G7	$1,86 * 2,35 * 22$	96,162	-7,32	-703,91	
G8	$(2/3 * 1,95) * 2,35 * 22$	67,21	-5	-336,05	
G9	$(2/3 * 1,95) * 2,35 * 22$	67,21	-3,05	-204,99	
G10	$(0,3 * 2,35) * 22$	15,51	-0,85	-13,18	
G11	$(2,35 * 4,05) * 22$	209,385	-0,45	-94,22	
W1	$2,5 * 3,7 * 9,81$	90,74	-8,26	-749,53	
W2	$(0,64 + 0,59) / 2 * 2,5 * 9,81$	1,74	-9,66	-16,77	
W3	$((1/4 * 3,14 * (3,9^2)) / 2) * 1,95 * 9,81$	58,56	-3,38	-197,95	
W4	$1,86 * 8,25 * 9,81$	145,15	-2,03	-294,66	
Pv1	$((1/2 * 3,4 + 3,3) * 1,85 * 9,81)$	90,74	-11,02	-999,98	
Pv2	$((1/2 * 2 + 1,9) * 1,85 * 9,81)$	80,48	9,19	739,57	
Pv3	$((1/2 * 3 + 2,6) * 10,11 * 9,81)$	621,77	5,06	3146,13	
Jumlah		1771,54			-1637,77

➤ Kontrol Stabilitas Bendung Pada Kondisi Air Banjir

1. Terhadap guling

$$S_f = \frac{\sum Mv}{\sum Mh} > 1,5, S_f = \frac{-1637,77}{-439,13} = 3,73 \text{ ton/m}^2 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

2. Terhadap geser

$$S_f = f \times \frac{\sum Rv}{\sum Rh} > 1,5, S = f \times \frac{R_v}{R_H} = 0,5 \times \frac{1771,54}{304,36} = 2,91 \text{ ton/m}^2 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

3. Terhadap daya dukung tanah

Eksentrisitas:

$$e = (L/2) - ((\sum Mh + \sum Mv) / \sum Rv)$$

$$= 6,91 - ((-439,13 + (-1637,77)) / 1771,54)$$

$$= 3,19 \text{ m} > 1/6 \times L = 2,30 \rightarrow (\text{Aman})$$

Tekanan tanah :

$$\sigma_{\max} = \frac{\sum Rv}{L} \left(1 + \frac{6e}{L}\right) = \frac{1771,54}{13,81} \left(1 + \frac{6 \times 3,19}{13,81}\right) = 306,59 \text{ kN/m}^2$$

$$S = \frac{qu}{\sigma_{\max}} = \frac{600}{306,59} = 1,96 \text{ ton/m}^2 > 1,5$$

(Aman).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa:

1) Kondisi aliran

Dari hasil perhitungan Bilangan Froude di hulu bendung didapatkan 0,891 sehingga menghasilkan kondisi aliran tetap atau sub kritis sedangkan nilai bilangan froude pada hilir bendung adalah 1,007 dan menghasilkan kondisi aliran yang bergelombang atau Super Kritis sehingga diperlukan perencanaan kolam olak.

2) Dimensi kolam olak

Panjang kolam olak $L_j = 8,25 \text{ m}$, panjang terjunan $L_d = 1,86 \text{ m}$, jari-jari hidrolis $R = 2,75 \text{ m}$, kedalaman pondasi kolam olak di hilir bendung $t = 2,35 \text{ m}$, tinggi $H = 5,85 \text{ m}$, Kedalaman kritis $Y_c = 0,59 \text{ m}$, tinggi energi $H_1 = E = H_e = 0,89 \text{ m}$, kecepatan kritis $V_c = 2,4217 \text{ m/dtk}$ dan untuk Debit $Q = 14,288 \text{ m}^3/\text{dt}$, kedalaman aliran diawal loncatan $Y_1 = 0,21 \text{ m}$, kedalaman lanjutan $Y_2 = 1,86 \text{ m}$.

3) Jenis aliran

Dari hasil perhitungan Bilangan Froude setelah adanya kolam olak tipe bak tenggelam aliran berubah dari kondisi super kritis menjadi sub kritis.

4) Kontrol stabilitas

Kontrol stabilitas ditinjau pada kondisi normal dan banjir dengan memenuhi syarat yang ditentukan agar konstruksi ideal :

a. Kondisi normal

- i. Kontrol geser, SF = 5,55 > 1,5
- ii. Kontrol guling, SF = 3,33 > 1,5
- iii. Kontrol daya dukung tanah = 2,03 > 1,5

b. Kondisi banjir

- i. Kontrol geser, SF = 2,91 > 1,5
- ii. Kontrol guling, SF = 3,73 > 1,5

Kontrol daya dukung tanah = 1,96 > 1,5.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim 1, 1. (1989). *Ven Te Chow, Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Penerbit, Erlangga.
- Anonim, 1. (1986). *Ven Te Chow, Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Anonim, 1. (1989). *Ven Te Chow, Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Anonymous. (1983).
- Anonymous, 1. (1989). *Ven Te Chow, Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Bakhmeteff. (1989). *Ven Te Chow, Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Bernoulli. (t.thn.).
- Bos. (1978). *Ven Te Chow, Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Chow. (1557).

- Chow, V. T. (1989).
- Chow, V. T. (1989). *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Chow, V. T., & Chow, V. T. (1989). *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Malang, T. D. (2017). *Hasil Pengambilan*. Malang.
- Memed, E. M. (1989). *Ven Te Chow, Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Memed, E. M. (1989). *Ven Te Chow, Hidrolika saluran terbuka (1989)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Memed, E. M. (2002). *Mendesain Dimensi Peredam Energi Tipe MDO*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Peterka. (1974).
- Rangga Raju, K. 1. (1989). *Ven Te Chow, Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Rosalina. (1989). *Ven Te Chow, Hidrolika saluran terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sosrodarsono, S. (1983). *Koefisien Daya Dukung Tanah*. Jakarta: Penerbit Paramita.
- Sosrodarsono, S. (1983).
- Sosrodarsono, S. (1983). *Koefisien Daya Dukung Tanah*. Jakarta: Penerbit Pradnya Paramita.
- Standart Perencanaan Irigasi KP 02, 1. (2010). *Perhitungan Dimensi Peredam Energi*. Jakarta: Keputusan Direktur Jenderal Pengairan, Indonesia.
- Survey, H. (2017). *Hasil survey*. Malang.
- Suryono. (1983).
- Van Te Chow, 1. (1989). *Hidrolika Saluran terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Varshney, 1. (1971). *Ven Te Chow, Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Wright, O. d. (1989). *Ven Te Chow, Hidrolika saluran terbuka*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Yushar, M. (2010). *Ven Te Chow, Hidrolika saluran terbuka (1989)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sosrodarsono, S., (1983). *Koefisien Daya Dukung Tanah*. Jakarta: Pradnya Paramita