

Evaluasi Aliran Getar dan Kavitasi Pelimpah Bendungan Dolok

Fajar Aldoko Kurniawan¹, Gerald G. P. Siregar²

¹Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

²Balai Besar Wilayah Sungai Citanduy, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

¹Jl. Brigjen S. Sudiarto No. 375 Kota Semarang

²Jl. Prof. Dr. Ir. Sutami No.1 Kota Banjar

Submitted : 24, Juni, 2021;

Accepted: 03, Maret, 2022

Abstrak

Salah satu upaya dalam memenuhi kebutuhan air masyarakat di Kabupaten Demak dan Kota Semarang adalah membangun Bendungan Dolok. Sebelum proses pembangunan dilakukan diperlukan suatu uji model fisik untuk mempresentasikan perilaku aliran di pelimpah Bendungan agar tidak terjadi kegagalan hidrolis. Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan suatu kajian terhadap bahaya aliran getar dan kavitasi pada pelimpah Bendungan Dolok berdasarkan hasil uji model fisik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perhitungan analisis hasil pemodelan fisik Bendungan Dolok dengan kondisi aliran pada pelimpah pada aliran debit Q_2 , Q_{25} , Q_{100} , dan Q_{1000} . Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa aliran pada saluran peluncur pelimpah Bendungan Dolok tidak terjadi aliran getar sedangkan berdasarkan hasil perhitungan kavitasi masih terjadi di saluran peluncur.

Kata Kunci : Bendungan Dolok; aliran getar; kavitasi

Abstract

One of the efforts to meet the water needs of the people in Demak Regency and Semarang City is to build the Dolok Dam. Before the construction process is carried out, it is necessary to test a physical model to present the flow behavior in the overflow of the dam so that hydraulic failure does not occur. Based on this, it is necessary to study the dangers of vibratory flow and cavitation on the Dolok Dam spillway based on the results of the physical model test. The method used in this study is the calculation of the analysis of the results of physical modeling of the Dolok Dam with flow conditions on the spillway at discharge flows Q_2 , Q_{25} , Q_{100} , and Q_{1000} . Based on the results of the analysis, it is known that the flow in the Dolok Dam spillway channel does not occur vibrating flow, while based on the results of cavitation calculations, it still occurs in the launch channel.

Keywords : Dolok dams; vibrating flow; cavitation

*Corresponding author e-mail : fajardokokurniawan@gmail.com

Another author email gerald.siregar@gmail.com

A. PENDAHULUAN

Salah satu upaya dalam memenuhi kebutuhan air masyarakat di Kabupaten Demak dan Kota Semarang adalah membangun Bendungan Dolok. Sebelum proses pembangunan, diperlukan suatu uji model fisik hidrolika untuk mempresentasikan perilaku aliran di pelimpah Bendungan. Menurut Masrevaniah (2012) kondisi hidrolika pelimpah sulit didekati dengan perhitungan teoritis, maka diperlukan suatu pengujian model fisik. Dari pengujian model fisik dapat diketahui kapasitas dari sistem pelimpah tersebut dan kondisi hidrolika yang sama pada prototype. Dalam pengujian dengan menggunakan model fisik dilaksanakan suatu penyelidikan-penyelidikan dengan tujuan untuk (1) Menyelidiki kesempurnaan pada bangunan pelimpah bendungan yang ditinjau dari segi lokasi dan tata letak serta dimensi hidraulik. (2) Mempelajari arah, kecepatan dan distribusi aliran menuju pelimpah, saluran peluncur, serta peredam energi. (3) Mempelajari gejala pergerakan transportasi sedimen yang antara lain: penggerusan setempat, degradasi dan lain-lain. (4) Mempelajari kondisi hidraulik aliran di saluran transisi / saluran peluncur dan gerusan setempat di hilir peredam energi relatif yang tidak dalam. (5) Mempelajari adanya pengaruh degradasi terhadap keamanan bangunan pelimpah dan bangunan pelengkap lainnya.

Beberapa penelitian tentang uji hidrolika pada model fisik telah banyak dilakukan antara lain Setiawan (2012) melakukan pengujian model dinamis pada saluran terbuka hidrolis yang menggunakan *weir* segitiga yang menghasilkan perbandingan bahwa pada keadaan peralihan gradient kurve pada model dan pengukuran menunjukkan kesesuaian yang baik namun asumsi

tekanan air masih seragam dan belum diperhitungkan. Menurut Daud (2018) pada uji model pengaruh bentuk pelimpah terhadap karakteristik pengaliran menunjukkan bahwa hubungan antara kecepatan aliran di hulu dengan bilangan Froude untuk semua bentuk pelimpah berbanding lurus, dengan arti bahwa semakin cepat aliran di hulu maka semakin besar pula nilai bilangan Froude yang dihasilkan. Raisha (2021) melakukan pengujian kavitas pada model fisik yang menghasilkan bahwa pada bagian puncak mercu dan kaki mercu terjadi kavitas dan pencegahan yang efektif dengan penggunaan sistem pengudaraan ke dalam aliran atau disebut juga aerator.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan suatu kajian terhadap bahaya aliran getar dan kavitas pada pelimpah Bendungan Dolok berdasarkan hasil uji model fisik.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Analisis Hidraulika pada Pelimpah

Bangunan pelimpah samping (*side spillway*) adalah suatu bangunan pelimpah dengan saluran peluncur berada pada posisi menyamping terhadap pengatur aliran di hulu (Sosrodarsono, 1989).

Persyaratan desain yang perlu diperhatikan pada bangunan pelimpah tipe ini adalah pada bagian saluran samping dibuat cukup rendah sehingga debit banjir yang melewatinya tidak akan menyebabkan terjadinya suatu aliran tenggelam (*submerged flow*) pada saluran pengatur.

Untuk memenuhi persyaratan tersebut, bangunan pelimpah samping direncanakan sedemikian agar pada saat pengaliran debit banjir kondisi abnormal, perbedaan elevasi permukaan air di hulu

dan di hilir bangunan pengatur tidak kurang dari 2/3 kali tinggi air di atas mercu bendung tersebut (Sosrodarsono, 1989).

Selama pelaksanaan pengujian terhadap berbagai variasi debit, pengamatan dan pengukuran yang dilakukan meliputi pola aliran yang terjadi pada bangunan pelimpah, saluran samping, saluran transisi, saluran peluncur, peredam energi dan alur sungai bagian hilir, potensi adanya bahaya kavitas di saluran pelimpah dan saluran peluncur, serta efektifitas kinerja peredam energi (Paksi, 2021)

2. Pemodelan Fisik

Faktor-faktor yang diperhatikan dalam penentuan besarnya skala model antara lain:

- (1) Tujuan dan sifat penyelidikan.
- (2) Besaran-besaran dan ukuran di lapangan yang ditirukan di model, untuk mendapatkan similaritas keadaan aliran (lebar sungai, panjang sungai, kedalaman aliran), dan dimensi bangunan yang ditirukan lengkap dengan bagian-bagiannya.
- (3) Fasilitas pasokan air dan tempat / ruang yang tersedia di laboratorium, terkait dengan besarnya debit maksimum dan minimum yang harus dialirkan ke model.
- (4) Ketelitian minimum yang harus ditirukan dalam uji model.
- (5) Interpretasi terhadap pemecahan masalah pada pemodelan untuk penerapan di bangunan pelimpah yang dirancang (prototipe) harus dapat dipertanggungjawabkan. Dalam interpretasi dan transformasi ini perlu diperhitungkan juga kesalahan akibat penskalaan.
- (6) Alat-alat perlengkapan yang tersedia.

3. Perhitungan Kecepatan

Untuk menghitung distribusi kecepatan di prototipe menggunakan persamaan (Chow 1989):

$$V_m = C_p \sqrt{2gh} \quad (1)$$

$$V_p = V_m \cdot n k^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

dengan

V_m = kecepatan di pemodelan (m/dt)

C_p = koefisien pitot tube (0.98)

h = beda tinggi muka air (m)

V_p = kecepatan di prototype (m/dt)

n_k = skala pemodelan

4. Perhitungan Tinggi Tekan

Pengukuran tinggi tekan dilakukan dengan menggunakan piezometer. Perhitungan tinggi tekan di prototipe menggunakan persamaan berikut (Chow 1989):

$$H_p = H_m \times n \quad (3)$$

dengan

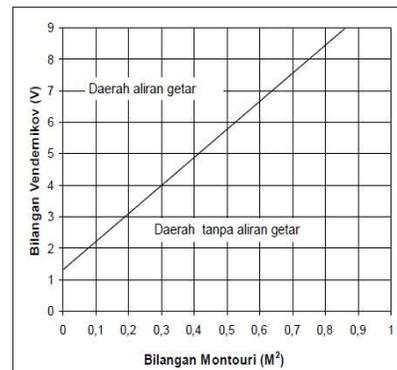
H_p = tinggi tekan di prototype (m)

H_m = tinggi tekan di pemodelan (m)

n = skala pemodelan

5. Perhitungan Aliran Getar

Pada suatu bangunan saluran peluncur yang panjang terdapat potensi bahaya ketidakstabilan pada aliran yang biasa disebut aliran getar (*slug/pulsating flow*).



Gambar 1. Kriteria Aliran Getar (Chow, 1989)

Apabila panjang saluran tersebut melebihi dari 30 meter, maka terjadi aliran getar yang dapat diidentifikasi menggunakan Bilangan Vendernikov (V) dan Bilangan Montouri (M) (Wibowo, 2016) (lihat Gambar 1)

Bilangan Vendernikov (V)

$$V = \frac{2bv}{3P\sqrt{gd\cos\theta}} \quad (4)$$

Bilangan Montouri (M)

$$M^2 = \frac{v^2}{gIL\cos\theta} \quad (5)$$

dengan

- b = lebar dasar saluran (m)
- v = kecepatan aliran (m/dt)
- g = percepatan gravitasi (9.81 m/dt²)
- P = keliling basah (m)
- d = kedalaman hidrolis (m)
- I = kemiringan rerata (tan Θ)
- Θ = sudut gradient enrgi
- L = panjang saluran (m)

Gelombang akan timbul hanya apabila titik-titik itu terletak di dalam daerah getar di kedua gambar. Jika memang demikian halnya, maka kemungkinan panjang, kemiringan atau lebarnya harus diubah. Apabila hal ini tidak mungkin, maka harus disediakan longgaran khusus untuk aliran deras di dalam kolam olak dengan menggunakan tinggi jagaan tambahan dan mungkin alat peredam gelombang (*wave suppressor*) (KP-04 Irigasi, 2012).

Ada beberapa cara untuk mengurangi kemungkinan terjadinya aliran getar pada suatu saluran sebagai berikut:

1. Dengan merubah desain penampang saluran dengan cara mengurangi lebar saluran.
2. Memperlandai dasar saluran dengan mengurangi slope, sehingga kecepatan aliran dapat diminimalkan.
3. Dengan jeram (*cascades*), yaitu mekanisme untuk transportasi aliran.

mengusulkan *cascades* (Syntia, 2013), yang digunakan pada kemiringan dasar antara 5%– 65% dengan kecepatan di atas 10 m/dt. Salah satu tipe *cascade* yang dapat digunakan adalah *cascade receiving sump*.

6. Perhitungan Kavitas

Kavitas adalah suatu kejadian timbulnya gelembung – gelembung uap air akibat adanya aliran dengan kecepatan yang begitu besar, sehingga tekanan air menjadi lebih kecil dari pada tekanan uap air maksimum di temperatur itu (Muis, 2019). Proses kavitas pada saluran pelimpah dapat mengakibatkan erosi pada konstruksi. (Patty, 1995).

Menurut Sutopo (2014) pada saat aliran meluncur di saluran luncur pelimpah bendungan, pada jarak tertentu dari mercu pelimpah maka kecepatan aliran menjadi sangat tinggi sehingga tekanan menjadi sangat rendah bahkan mencapai sama dengan tekanan uap pada saat itulah terjadi kavitas.

Perhitungan kavitas dilakukan dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{P_0 - P_v}{\frac{\rho v_0^2}{2}} \quad (6)$$

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{\rho v_0^2}{2}} \quad (7)$$

Jika $P \approx P_v$ maka $\sigma_1 = -C_p$

- σ = indeks kavitas
- P_0 = ambient pressure (kPa)
- P_0 = $P_a + P_g$
- P_a = tekanan atmosfer (101 kPa)
- P_g = $\rho \cdot g \cdot h$ tekanan setempat (kPa)
- H = tinggi muka air (m)
- P_v = tekanan uap (kPa)
- ρ = massa jenis cairan (kg/m³)
- V_0 = kecepatan aliran (m/dt)
- C_p = koefisien kavitas
- P = tekanan setempat (kPa)
- σ_1 = angka batas kavitas

Kriteria kavitas:

$\sigma > \sigma_1$ = tidak terjadi kavitas

$\sigma \leq \sigma_1$ = terjadi kavitas

Untuk menghindari bahaya dari kavitas lokal, tekanan negatif minimum pada mercu pelimpah harus dibatasi hingga tidak melebihi -4 m tekanan air, jika bangunan tersebut dari beton (Paksi, 2021).

C. METODE PENELITIAN

1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan adalah hasil pemodelan fisik Bendungan Dolok yang berupa data teknis pelimpah, kecepatan, tekanan, tinggi muka air dan kondisi aliran pada pelimpah pada aliran debit Q 2, Q25, Q100, dan Q1000

2. Pengujian Laboratorium Model

Untuk melaksanakan pengujian model fisik terhadap rencana bangunan pelimpah perlu dibuat model fisik tiga

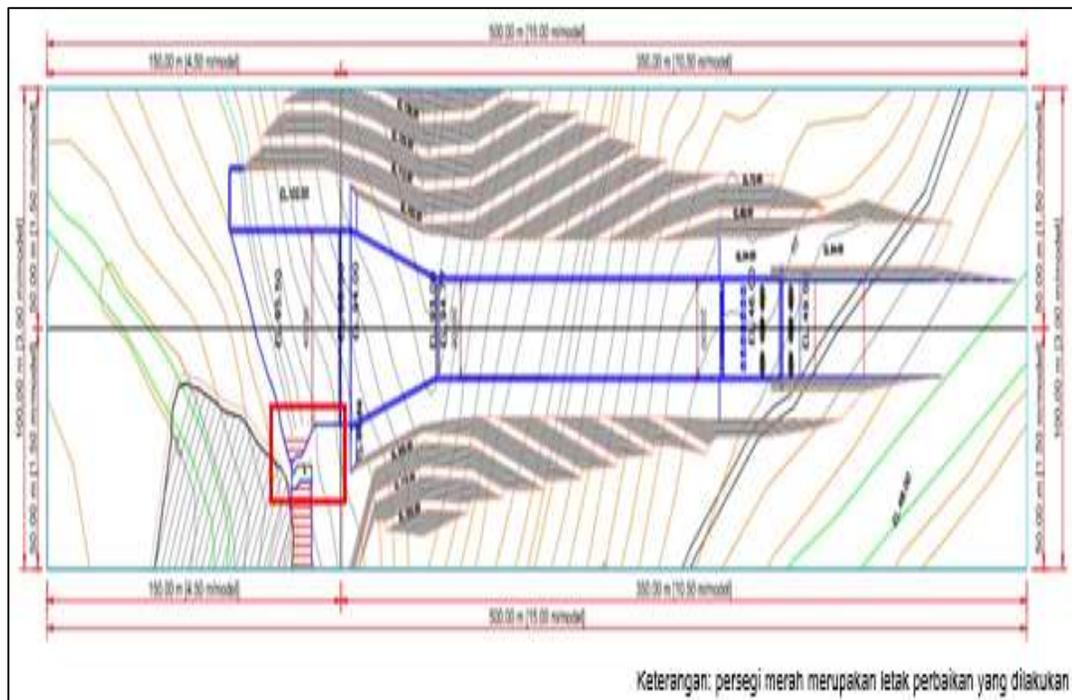
dimensi di laboratorium. Model yang dibuat merupakan model tanpa distorsi (*undistorted model*), dengan arti bahwa skala geometri horizontal (n_h) diambil sama dengan skala geometri vertikal (n_v).

Skala model fisik untuk pengujian desain Pelimpah Bendungan Dolok adalah 1: 33^{1/3} dipresentasikan pada Gambar 2.

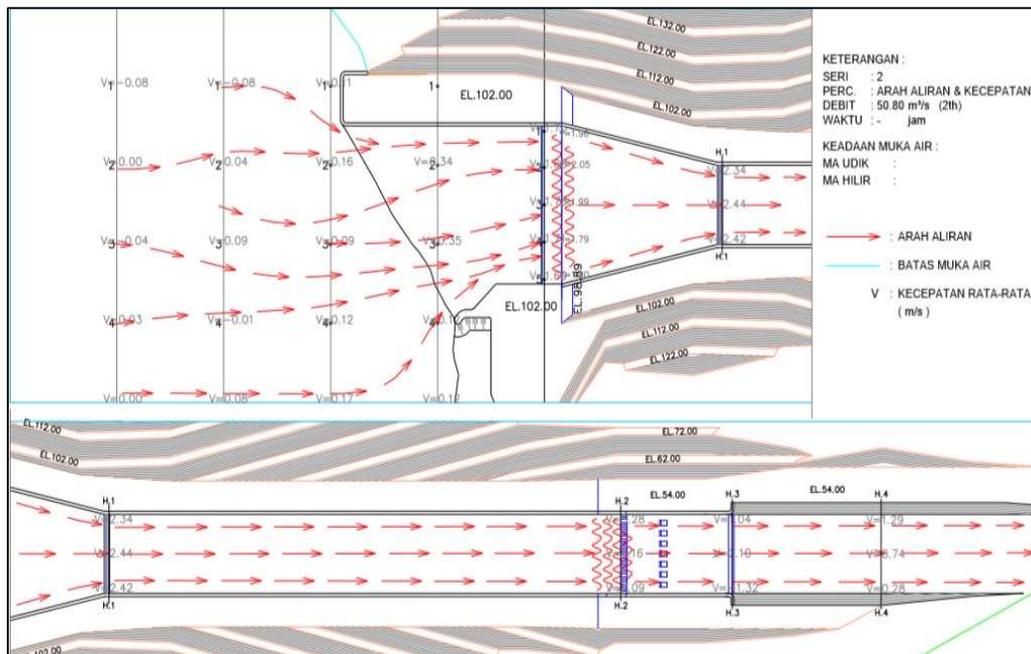
3. Penyelidikan Arah dan Kecepatan

Pengujian arah dan kecepatan aliran menuju bendung (Gambar 3 - Gambar 5) dilakukan dengan menggunakan debit rencana sebagai berikut:

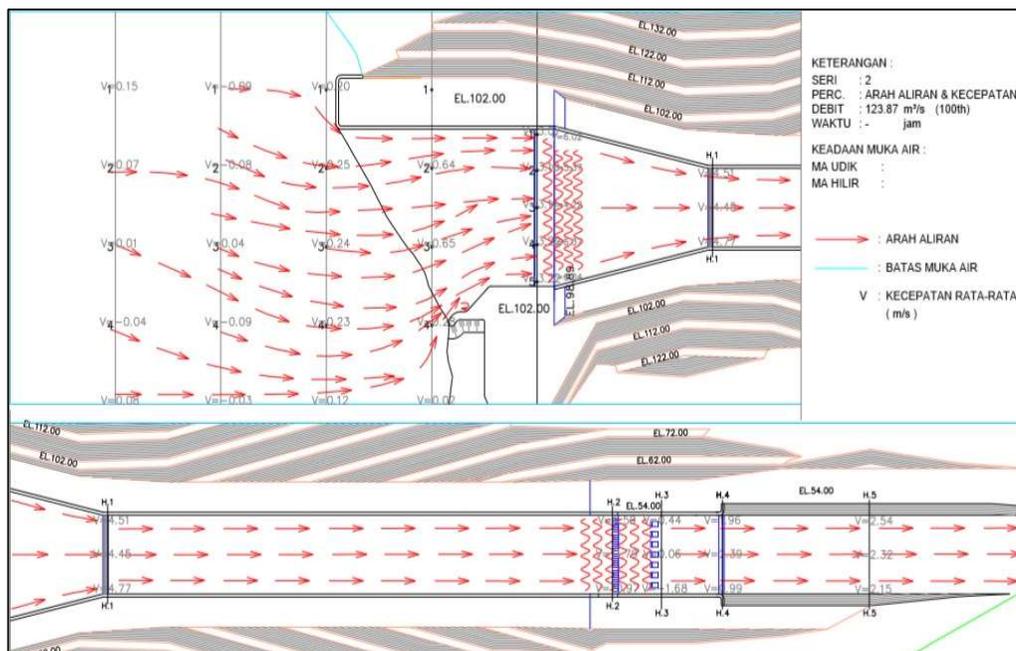
- Debit periode ulang 2 tahun, $Q_2 = 50,80 \text{ m}^3/\text{s}$
- Debit periode ulang 25 tahun, $Q_{25} = 83,70 \text{ m}^3/\text{s}$
- Debit periode ulang 100 tahun, $Q_{100} = 123,87 \text{ m}^3/\text{s}$
- Debit periode ulang 1000 tahun, $Q_{1000} = 162,80 \text{ m}^3/\text{s}$



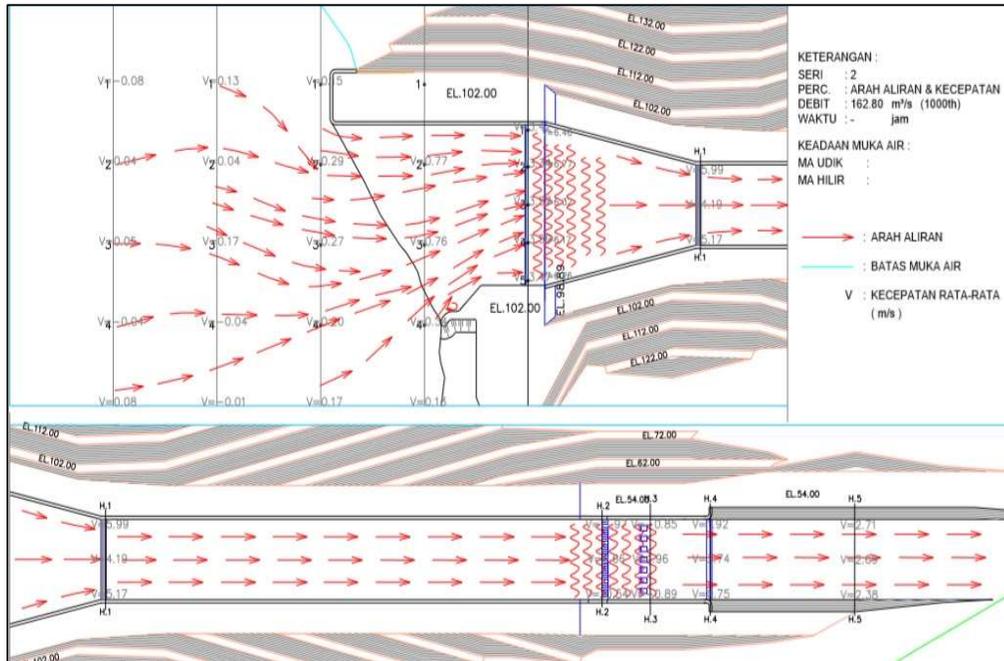
Gambar 2. Situasi pelimpah



Gambar 3. Kondisi arah dan kecepatan aliran untuk debit, $Q_{2\text{th}} = 50,80 \text{ m}^3/\text{dt}$



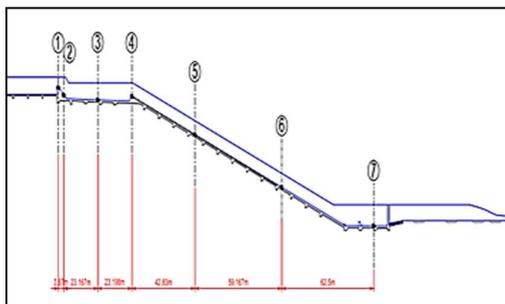
Gambar 4. Kondisi arah dan kecepatan aliran untuk debit, $Q_{100\text{th}} = 123,87 \text{ m}^3/\text{dt}$



Gambar 5. Kondisi arah dan kecepatan aliran untuk debit, $Q_{1000 \text{ th}} = 162,80 \text{ m}^3/\text{dt}$

4. Pengujian Tekanan Piezometer

Pengujian tekanan piezometer dilakukan untuk mengetahui kemungkinan terjadinya tekanan negatif disepanjang pelimpah. Adapun titik pengamatan di sepanjang pelimpah disajikan pada Gambar 6 dan hasilnya dipresentasikan pada Tabel 1



Gambar 6. Titik Pengamatan Pengujian Tekanan Piezometer

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengolahan Data Model

Pengolahan data dilakukan untuk memperoleh dimensi prototipe dari hasil uji model sehingga perhitungan analisis hidrolika dapat dilakukan. Data uji model fisik ditampilkan pada Tabel 2. Model fisik pelimpah Bendungan Dolok menggunakan skala pemodelan $33^{1/3}$. Perhitungan dimensi prototype ditampilkan pada Tabel 3

2. Perhitungan Aliran Getar

Untuk melakukan perhitungan potensi adanya aliran getar pada saluran peluncur dilakukan dengan menggunakan bilangan Moutori dan bilangan Vandernikov, serta evaluasi dengan menggunakan grafik untuk menentukan batas terjadinya aliran getar.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengujian Tekanan Pzieometer

No	Kala Ulang (tahun)	Debit (m ³ /dt)	Titik Piezometer						
			1	2	3	4	5	6	7
1	-	25	0.27	0.03	1.07	0.60	-0.07	-0.23	3.00
2	2	50.8	0.40	0.03	2.70	0.73	-0.20	-0.40	3.53
3	25	83.7	0.47	0.03	2.83	0.87	-0.17	-0.63	3.87
4	50	111.7	0.50	0.17	2.93	0.93	-0.13	-0.83	4.13
5	100	123.87	0.53	0.20	3.00	0.93	-0.10	-0.90	4.20
6	1000	162.8	0.57	0.27	3.23	0.93	-0.07	-1.00	4.23
7	-	200	0.57	0.60	2.50	0.97	0.00	4.00	4.47
8	-	250	0.47	0.77	2.70	0.93	0.07	3.73	4.20
9	-	300	0.30	0.83	3.63	0.93	0.13	3.87	2.33
10	-	350	0.20	1.07	3.83	0.87	-0.13	4.00	0.00
11	-	400	0.00	1.27	4.13	0.73	-0.07	4.13	0.00
12	PMF	475.79	-0.40	1.20	3.53	0.67	0.50	4.27	0.00

Tabel 2. Data Uji Model Fisik Pelimpah Bendungan Dolok

Penampang	Section	Debit Q ₂		Debit Q ₁₀₀		Debit Q ₁₀₀₀	
		Tekanan	Kecepatan	Tekanan	Kecepatan	Tekanan	Kecepatan
Pelimpah	1	0.4	0.35	0.533	0.65	0.567	0.76
	2	0.033	1.76	0.2	3.1	0.267	3.57
Transisi	3	2.7	1.99	3	4.2	3.233	6.32
	4	0.733	2	0.933	4.1	0.933	6.3
Peluncur	5	-0.2	2.44	-0.1	4.46	-0.067	5.99
	6	-0.4	2.44	-0.9	4.46	-1	5.99
Peredam Energi	7	3.533	0.1	4.2	0.39	4.233	0.96

Tabel 3. Perhitungan Prototipe Pelimpah Bendungan Dolok Skala 33^{1/3}

Penampang	Section	Debit Q ₂		Debit Q ₁₀₀		Debit Q ₁₀₀₀	
		Tekanan	Kecepatan	Tekanan	Kecepatan	Tekanan	Kecepatan
Pelimpah	1	13.33	2.02	17.76	3.75	18.90	4.39
	2	1.10	10.16	6.67	17.90	8.90	20.61
Transisi	3	89.99	11.49	99.99	24.25	107.76	36.49
	4	24.43	11.55	31.10	23.67	31.10	36.37
Peluncur	5	-6.67	14.09	-3.33	25.75	-2.23	34.58
	6	-13.33	14.09	-30.00	25.75	-33.33	34.58
Peredam Energi	7	117.75	0.58	139.99	2.25	141.09	5.54

Tabel 4. Perhitungan Aliran Getar

Kala Ulang	Debit (m ³ /s)	b (m)	h (m)	V (m/s)	P (m)	L (m)	Θ o	I	Bilangan		Keterangan
									$\frac{V}{L}$	$\frac{M^2}{L^2}$	
Q ₂	83.70	20.00	0.297	14.09	20.59	139.03	18.56	0.298	5.459	0.714	tidak terjadi aliran getar
Q ₁₀₀	123.87	20.00	0.241	25.75	20.48	139.03	18.56	0.298	11.147	1.305	tidak terjadi aliran getar
Q ₁₀₀₀	162.80	20.00	0.235	34.58	20.47	139.03	18.56	0.298	15.140	1.752	tidak terjadi aliran getar

Berdasarkan hasil perhitungan aliran getar pada Tabel 4 dan evaluasi hasil analisis aliran getar (Gambar 7) disimpulkan bahwa pada saluran peluncur tidak terjadi aliran getar pada tiap kala ulang yang diuji

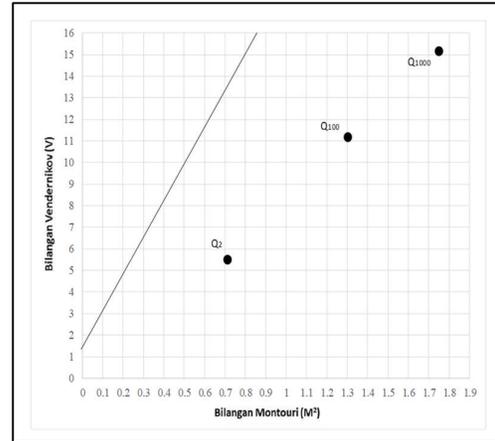
3. Perhitungan Kavitas

Perhitungan kavitas pada pelimpah dan saluran peluncur untuk menentukan terjadinya bahaya kavitas. Kavitas mengakibatkan perusakan terhadap lantai dasar saluran yang dikarenakan adanya penghisapan akibat kecepatan yang tinggi.

Pada perhitungan diketahui bahwa pada saluran peluncur masih terjadi kavitas yang diakibatkan oleh tekanan negative (lihat Tabel 5). Untuk perbaikan maka diperlukan mutu kualitas beton yang baik sehingga mampu untuk menahan tekanan negatif hingga -4 m.

Tabel 5. Perhitungan Kavitas

Posisi	Sec	σ	Cp	Ket.
Pelimpah	1	0.0294	0.0104	tidak terjadi kavitas
	2	0.0009	0.0005	tidak terjadi kavitas
Transisi	3	0.0017	0.0002	tidak terjadi kavitas
	4	0.0006	0.0002	tidak terjadi kavitas
Peluncur	5	0.0001	0.0002	terjadi kavitas
	6	-0.0004	0.0002	terjadi kavitas
Peredam Energi	7	0.0964	0.0066	tidak terjadi kavitas



Gambar 7. Evaluasi Aliran Getar

E. KESIMPULAN

1. Kesimpulan

Aliran pada saluran peluncur pelimpah Bendungan Dolok tidak terjadi aliran getar sedangkan berdasarkan hasil perhitungan kavitas masih terjadi di saluran peluncur.

2. Rekomendasi

Untuk menghindari gejala kavitas ada beberapa cara antara lain:

- 1) Pada daerah batas dimana gejala kavitas muncul, dilakukan perubahan desain sedemikian sehingga pada daerah tersebut dapat menghasilkan tekanan tinggi dengan tujuan mampu mereduksi penurunan tekanan yang terjadi.
- 2) Penggunaan material dasar konstruksi yang tahan terhadap kavitas seperti *stainless stell* dan beton lapis fiber sehingga dapat mengurangi angka kavitas walaupun masih terdapat gejala.
- 3) Penggunaan sistem pengudaraan yang masuk kedalam aliran sehingga mampu mengurangi potensi munculnya gelembung - gelembung udara yang menyebabkan kavitas.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Muis. 2019. Karakteristik Kavitas Pada Pompa Sentrifugal. Jurnal Mekanikal Vol. 10 no. 2. Universitas Tadulako
- Athqa, Raisha. 2021. Kajian Kavitas Pada Mercu Pelimpah Model Fisik Bendungan Krueng Kluet Kabupaten Aceh Selatan. Banda Aceh : Universitas Syiah Kuala.
- BBWS Pemali Juana. 2019. *Model Test dan Analisis Kegempaan Bendungan Dolok*. Semarang.
- Chow, Ven Te. 1989. *Hidraulika Saluran Terbuka, Terjemahan E.V. Nensi Rosalina*. Jakarta: Erlangga
- Daud S, Fenty. 2018. Uji Model Pengaruh Bentuk Pelimpah Terhadap Karakteristik Pengaliran. Jurnal Teknik Hidro Vol.11 No.1. Makassar : Universitas Muhammadiyah Makassar.
- De Vries, M. 1997. *Scaling Model Hydraulic*. Netherland: IHE Published
- Hager, Willi H. 1992. *Energy Dissipators And Hydraulic I - 8 Jump*, Dordrecht : Kluwer Academic Publishers
- Masrevaniah, Aniek. 2012. Uji Model Fisik Alternatif Pelimpah Waduk Suplesi Pejok dengan Skala 1:40 (*Undistorted Scale*). Malang : Universitas Brawijaya.
- Paksi, R.S Jatayu. 2021. Kajian Hidrolika Bangunan Pelimpah Samping (Side Channel Spillway) Bendungan Pomalaa Kabupaten Kolaka Provinsi Sulawesi Tenggara Dengan Uji Model Fisik 1:40. Malang : Universitas Brawijaya
- Patty, O.F. 1995. *Tenaga Air*. Surabaya : Erlangga
- Peterka, A.J. 1978. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*. United States Department of The Interior : Bureau of Reclamation.
- Raju, K.G.R. 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka*, terjemahan Yan Piter Pangaribuan B.E., M.Eng. Jakarta : Erlangga.
- Setiawan, A. 2012. Pemodelan dan Pengujian Model Dinamis Saluran Terbuka Hidrolik Yang Menggunakan Weir Segitiga. *Techne Jurnal Ilmiah Elektronika* Vol.11 no.1.
- Sosrodarsono, Suyono dan Tekeda, Kensaku. 1989. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta : Erlangga
- Standar Perencanaan Irigasi. 2012. KP-04 Bagian Bangunan. Jakarta : PUPR.
- Syntia B.,Acyta. 2013. Studi Model Hidraulik Pelimpah Samping (Side Channel Spillway) Waduk Gondang Kabupaten Karanganyar Dengan Skala 1:50. Malang: Universitas Brawijaya.
- Triatmodjo, Bambang. 1996. *Hidrolika II*. Yogyakarta : Beta Offset.
- United States Department of The Interior : Bureau of Reclamation. 1973. *Design of Small Dams*. Oxford & IBH Publishing CO. New Delhi Bombay Calcutta.
- Wibowo, Anggara C. 2016. Pemodelan Numerik Pelimpah Samping Waduk Telagawaja Bali Kabupaten Karangasem Dengan Analisa Komputasi Fluida Dinamis. Malang : Universitas Brawijaya



© 2022 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)