



ANALISIS KAVITASI PADA SALURAN PELUNCUR PELIMPAH BENDUNGAN KARALLOE

CAVITATION ANALYSIS OF THE KARALLOE DAM BLACKER CHANNEL

Aswandi Ismail^{1*}, Nurnawaty^{2(*)}, Marwa³, Fauzan Hamdi⁴

^(1,2,3,4) Universitas Muhammadiyah Makassar

^{2(*)} nurnawaty@unismuh.ac.id

Abstrak

Saluran peluncur pada bendungan membawa aliran dari ujung hilir saluran transisi sampai peredam energi. Kecepatan aliran yang tinggi dan tekanan yang rendah pada saluran peluncur dapat menimbulkan kavitasi dan aliran getas. Pelimpah memiliki kemiringan curam berisiko terhadap munculnya perilaku hidraulika yaitu kavitasi, kavitasi yang tidak dihilangkan dapat membahayakan permukaan dasar saluran akibat terjadinya gerusan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai indeks kavitasi dan klasifikasi nilai indeks kavitasi. Metode penelitian ini digunakan jenis penelitian deskriptif kuantitatif menggunakan analisis data sekunder sebagai sumber data utama, dengan cara perbandingan menggunakan data lapangan dengan pemodelan aplikasi HEC-RAS. Hasil nilai indeks kavitasi yang terjadi disaluran peluncur bervariasi setiap bulannya dipengaruhi oleh debit, kecepatan, kedalaman air dan temperatur, dengan cara manual nilai indeks kavitasi terbesar 180,70 terjadi pada bulan Maret debit Q_5 dan terkecil 4,54 terjadi pada bulan Februari pada debit Q_{350} , Untuk cara komputasi nilai indeks kavitasi terbesar 249,42 pada bulan Januari debit Q_5 , dan terkecil 8,74 pada bulan Februari debit Q_{350} , dan Klasifikasi nilai indeks kavitasi diperoleh bahwa nilai indeks kavitasi lebih besar dari 1 ($\sigma > 1$) masuk dalam level 1 yang berarti bahwa tidak terjadi aliran negatif atau saluran peluncur masuk dalam kategori aman terhadap kavitasi.

Kata Kunci: Bendungan, Hec-Ras, Kavitasi, Spillway.

Abstract

The spillway in the dam carries the flow from the downstream end of the transition channel to the reduce energy. Spillways having a steep slope are at risk of causing cavitation. It can endanger the surface of the bottom channel due to scouring. The purpose of this study was to determine the value of the cavitation and the classification index. This research method uses descriptive quantitative research with secondary data analysis as the main data source, by way of comparison using field data with the HEC-RAS application modeling. The results of the cavitation index value that occurs launcher channel vary every month influenced by discharge, speed, water depth and temperature, by manual method the largest cavitation index value is 180.70 occurring in March at Q_5 discharge and the smallest is 4.54 occurring in February at Q_{350} discharge, For the method of computing the largest cavitation index value is 249.42 in the January discharge of Q_5 , and the smallest is 8.74 in the discharge of February Q_{350} . and Classification of the cavitation index value obtained must greater than 1 ($\sigma > 1$) is included in level 1. This means that there is no negative flow or the chute channel is included in the Safe category against cavitation.

Keywords: Dam, Hec-Ras, Cavitation, Spillway.

PENDAHULUAN

Bangunan Pelimpah Bendungan Karalloe dibangun pada daerah yang curam dengan elevasi puncak mercu + 248,50 m, kemudian peredam energi berada pada elevasi 187,30 m. Pada bangunan pelimpah, diantara mercu dengan bangunan peredam energi diberi saluran peluncur. Saluran ini berfungsi untuk mengalirkan air yang melimpah dari mercu sehingga mampu mengalir dengan lancar tanpa

hambatan-hambatan hidrolis menuju kepada peredam energi.

Kondisi aliran di pelimpah sulit didekati dengan perhitungan analitik (Aulia, Dermawan and Cahya, 2021). Pelimpah yang memiliki kemiringan yang curam berisiko terhadap munculnya perilaku hidraulika yaitu Kavitasi yang dapat membahayakan permukaan dasar saluran pelimpah akibat terjadinya gerusan/erosi. Kerusakan terhadap lantai saluran akibat gerusan yang terjadi terus menerus dapat menyebabkan masuknya air melewati celah-celah

(*)Corresponding author
Telp : 081341607142
E-mail : nurnawaty@unismuh.ac.id

<http://doi.org/xxx>

Received 25 Januari 2023; Accepted 16 Februari 2023; Available online 04 April 2023

E-ISSN: 2614-4344 P-ISSN: 2476-8928

gerusan sehingga terganggunya stabilitas pelimpah (Faudli, Azmeri and Refika, 2021)

TINJAUAN PUSTAKA

Dasar Teori

Spillway atau pelimpah (spillway) merupakan salah satu struktur pembantu bendungan, pelimpah mempunyai fungsi yang sangat penting karena tugasnya untuk melindungi dari resiko banjir (*flooding*) atas bendungan. bekerja sedemikian rupa sehingga curah hujan rancangan yang dihasilkan mengalir dengan cepat, sehingga aliran air tidak sempat meluas. Bangunan pelimpah dapat dikontrol atau tidak, situs pelimpah yang dikendalikan dilengkapi dengan pintu air yang dapat diangkat dan diturunkan. Di sisi lain, luapan yang tidak terkendali tidak memiliki pintu.

Bangunan pelimpah samping (*side spillway*) adalah suatu bangunan pelimpah dengan saluran peluncur berada pada posisi menyamping terhadap pengatur aliran di hulu (Kurniawan and Siregar, 2022). Pelimpah merupakan suatu komponen saluran pengatur aliran pada bendungan yang berfungsi untuk lebih meningkatkan pengaturan serta memperbesar debit aliran yang akan melintasi bangunan pelimpah. Kebocoran yang curam berisiko menyebabkan perilaku hidrolis, yaitu kavitasi. Kerusakan pada dasar saluran yang disebabkan oleh gesekan terus-menerus dapat memungkinkan air masuk melalui celah-celah gesekan dan mengganggu stabilitas saluran (Faudli, Azmeri and Refika, 2021). Stabilitas pola dan debit aliran di saluran peluncur sangat penting dan perlu untuk diperhatikan Nurnawaty and Rakhim, A. (2018).

Menurut Aniek Masrevasiah (2012), Saluran peluncur adalah saluran pembawa dan ujung/hilir dari saluran peralihan atau ujung hilir ambang batas (tanpa saluran peralihan) menuju peredam energi. (Sosrodarsono, 1989, p.205) Untuk memiliki volume beton yang rendah di saluran peluncur, aliran kecepatannya harus tinggi. Saluran ini dirancang dengan aliran keadaan superkritis, dimana Fr (bilangan Froude) $Fr > 1$, namun $Fr < 9$.

Rencana teknis saluran peluncuran didasarkan pada perhitungan hidraulika untuk mendapatkan gambaran kondisi aliran saluran pada debit tertentu (debit banjir rencana, banjir tidak normal, dll). Pada saluran peluncur tidak diperbolehkan ada konstruksi penghambat misal (Pilar) di dalamnya (Athaya, R 2012). Bentuk dan ukuran saluran serta ketinggian dindingnya ditentukan oleh kedalaman air yang mengalir melalui saluran, kekasaran yang terjadi di permukaan saluran dan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi keadaan aliran air di dalam saluran

tersebut, biasanya dinyatakan dengan bilangan Froude.

Menurut Ven Te Chow (1989), laju aliran rata-rata adalah perbandingan antara laju aliran (Q) yang melalui saluran dengan luas penampang basah (A) saluran. Sudiyono et al (2014) Debit aliran merupakan perbandingan koefisien antara debit aliran dengan luas penampang basah saluran. Banyak faktor yang mempengaruhi mekanisme gelembung bola. Misalnya, ketika gelembung pecah menjadi beberapa gelembung karena penurunan tekanan.

Sebuah studi baru-baru ini menggunakan metode fotoelastik (Fuji kawa dan Akamatsu, 1980) memberitahuakan bahwa gelombang udara yg bergerak sangat cepat menciptakan tekanan yang jauh lebih tinggi daripada jet yang kemudian mengenai bagian bawah dan dinding samping palung. Pancaran tekanan yang diciptakan oleh ledakan gelembung asimetris yang disebabkan oleh gelombang udara yang bergerak cepat yang disebutkan di atas disebut pancaran ultrasonik. Kecepatan gelombang yang dihasilkan oleh Ultrajet mirip dengan kecepatan suara dalam aliran supersonik (Tomita dan Shima, 1986).

Persamaan (Rumus/Formula)

a) Perhitungan Kedalaman Air

$$A R^{2/3} = \frac{n Q}{S^{1/2}} \dots \dots \dots (1)$$

Kedalaman aliran (hn) pada saluran berbentuk persegi empat dapat ditentukan dari persamaan (1) dengan langkah perhitungan sebagai berikut: Tentukan nilai: B, n, Q dan S. Kemudian masukkan ke persamaan (1).

Hitung: $A = B \cdot hn$

Hitung: $P = B + 2 hn$

Hitung: $R = \frac{A}{P} = \frac{Bhn}{B+2hn} = \frac{hn}{1+2\frac{hn}{B}}$

Pada saluran yang sangat luas: Nilai (hn/B) 0 sehingga $R = hn$.

Bila debit ditinjau persatuan lebar:

$q = \frac{Q}{P} : A = hn : R = hn$

Maka dengan menggunakan persamaan (1) di dapat kedalaman aliran (hn):

$$A R^{2/3} = \frac{n Q}{S^{1/2}}$$

$$h_n \times h_n^{2/3} = \frac{n q}{S^{1/2}}$$

$$h_n^{5/3} = \frac{n Q}{S^{1/2}}$$

$$h_n = \left(\frac{n Q}{S^{1/2}}\right)^{3/5} \dots\dots\dots(2)$$

Pada saluran sempit (h_n/B) $\geq 0,02$. Dari persamaan (1):

$$A R^{2/3} = \frac{n Q}{S^{1/2}}$$

diperoleh persamaan :

$$B h_n \left(\frac{B h_n}{B+2h_n}\right)^{2/3} = \frac{n Q}{S^{1/2}} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan:

B = Kedalaman aliran (m)

C = Debit Aliran (m³/dtk)

n = Koefisien kekasaran manning

S = Kemiringan dasar saluran

Dengan nilai yang diketahui: (B), (n), (Q) dan (S), maka berdasarkan persamaan (3) Nilai kedalaman aliran (hn) dapat dihitung dengan cara coba-coba.

b) Kecepatan Hidrolis

$$V = CR \times S y \dots\dots\dots(4)$$

Dengan:

V = Kecepatan aliran (m²/dt)

C = Faktor tahanan aliran

R = Jari-jari hidraulik (m)

S = Kemiringan dasar saluran

x dan y = eksponen

Rumus Kecepatan Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots(5)$$

Dengan:

R = Jari-jari hidraulik (m)

n = Koefisien kekasaran manning

S = Kemiringan dasar saluran

c) Debit Aliran

$$Q = V A \dots\dots\dots(6)$$

Dengan:

Q = Debit aliran, m³/dtk

V = Kecepatan aliran rata-rata (m/dtk)

A = Luas penampang aliran, (m)

d) Indeks Kavitasi

$$\sigma = \frac{p_o - p_v}{\rho \frac{v_o^2}{2}} \dots\dots\dots(7)$$

$$p_o = p_a + p_g \dots\dots\dots(8)$$

$$p_g = p \cdot g \cdot h \dots\dots\dots(9)$$

Dengan:

σ = indeks Kavitasi

p_o = ambient pressure (kpa)

p_a = tekanan atmosfer (101 kpa)

p_g = $\rho \cdot g \cdot h$ tekanan setempat (kpa)

H = tinggi muka air

p_v = tekanan uap (kpa)

ρ = massa jenis cairan (kg/m³)

V_o = kecepatan aliran (m/dtk)

e) Klasifikasi kavitasi

Klasifikasi nilai indek kavitasi bertujuan untuk memperkirakan resiko kerusakan akibat kavitasi sebelum ataupun pada saat terjadi kavitasi adapun klasifikasi indek kavitasi sebagai berikut :

Tabel 1 Klasifikasi indeks kavitasi

Kavitasi Indeks	Kavitasi Risk	Level
$\sigma > 1$	No kavitasi damage	1
$0,45 < \sigma \leq 1$	Possible kavitasi damage	2
$0,25 < \sigma \leq 0,45$	Kavitasi damage	3
$0,17 < \sigma \leq 0,25$	Serious damage	4
$\sigma \leq 0,17$	Major damage	5

Sumber : falvey (2018)

METODE

Penelitian ini dilaksanakan dibendungan Karalloe secara admistrasi Bendungan Karalloe terletak di Desa Garing dan Datara Kec. Tompobulu dan Desa Taring dan Tonrorita Kec. Biringbulu, Kab. Gowa Prov. Sulawesi Selatan.

1) Penelitian ini memakai penelitian deskriptif kuantitatif menggunakan analisis data sekunder (ADS). ADS merupakan metode yang menggunakan data sekunder sebagai sumber data primer.

2) Penggunaan data sekunder adalah penggunaan teknik pengujian statistik yang tepat untuk mengekstraksi informasi yang diinginkan tentang data informasi material atau matang dari otoritas atau lembaga tertentu, yang kemudian dapat diproses secara sistematis dan objektif.

3) Data teknis Bendungan merupakan data yang berhubungan langsung dengan perencanaan bendungan seperti tipe pelimpah elevasi, kemiringan volume *Spillway* dan sebagainya. Data Limpasan air pada *Spillway* diperoleh dari monitoring inflow dan outflow yang dilakukan dengan dua cara, yakni monitoring dengan cara manual dan monitoring menggunakan automatic water level recorder (AWLR). Data teknis Bendungan Karalloe diperoleh dari dari kontraktor pelaksana pembangunan Bendungan Karalloe PT. NINDYA KARYA Persero Tbk. Data Limpasan pada spillway Bendungan Karalloe diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang. Divisi Bendungan III.

4) Data Analisis data hubungan antar variabel Penelitian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Perhitungan kedalaman aliran saluran (hn). Tinggi aliran peluncur (hn) dengan penampang persegi panjang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (3). Kedalaman aliran juga dihitung secara matematis dengan aplikasi HEC-RAS 6.3.1
- b. Perhitungan kecepatan aliran. Kecepatan aliran dihitung dengan menggunakan Persamaan (5) . Debit aliran pada saluran peluncur juga dihitung dengan komputasi menggunakan aplikasi HEC-RAS 6.3.1
- c. Analisis nilai indeks kavitasi menggunakan persamaan. Analisis Nilai Indeks Kavitasi Menggunakan Persamaan (7).

e) Klasifikasi kavitasi

Klasifikasi nilai indek kavitasi bertujuan untuk memperkirakan resiko kerusakan akibat kavitasi sebelum ataupun pada saat terjadi kavitasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perhitungan Kedalaman Aliran

Kedalaman aliran pada saluran peluncur dihitung menggunakan persamaan (3)

$$B h_n \left(\frac{B h_n}{B + 2h_n} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{n Q}{S^{1/2}} \dots \dots \dots (3)$$

Dengan:

B = Kedalaman aliran (m)

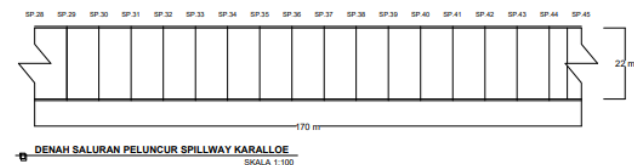
C = Debit Aliran (m³/dtk)

n = Koefisien kekesaran manning

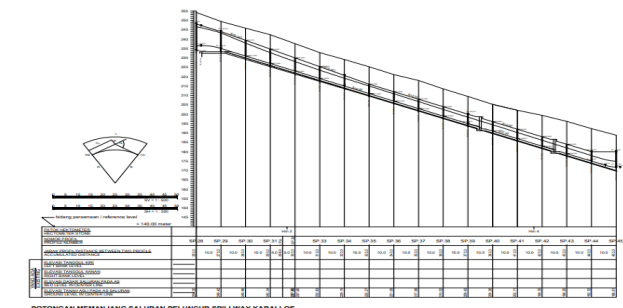
Tabel 2 Nilai koefisien kekasran manning N

Jenis Permukaan / Bahan	N
Besi tuang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapis mortal	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

Sumber : Bambang (1993)



Gambar 1 Denah Saluran Peluncur



Gambar 2 Potongan Memanjang Saluran Peluncur

Contoh perhitungan kedalaman aliran:

Diketahui:

Lebar saluran (B) = 22 m (Gambar 1)

Koefisien Manning (n) = 0,013 (Tabel 2)

Kemiringan Dasar saluran (S) = 0,0040 (Gambar 2)

Ditanyakan : Kedalaman Aliran (hn)... ..?

Penyelesaian : $B h_n \left(\frac{B h_n}{B + 2h_n} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{n Q}{S^{1/2}}$
 $22 h_n \left(\frac{22 h_n}{22 + 2h_n} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{0,013 \cdot 5}{0,0040^{1/2}}$
 $= 1,03$

Sehingga diperoleh hn coba coba sebesar 0,22

2. Perhitungan kecepatan aliran

Kecepatan aliran dihitung menggunakan persamaan :

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots(5)$$

Dengan :

- R = Jari-jari hidraulik (m)
- n = Koefisien kekasaran manning
- S = Kemiringan dasar saluran

Tabel 3 Nilai koefisien kekasaran manning N

DEBIT m3/dtk	STA	Kedalaman aliran secara manual m	Kedalaman aliran secara komputasi m
1	2	3	
Q5	SP11 (Hulu)	0,22	0,17
	SP10	0,16	0,17
	SP9	0,16	0,17
	SP8	0,16	0,17
	SP7	0,16	0,17
	SP6	0,16	0,17
	SP5	0,16	0,17
	SP4	0,16	0,17
	SP3	0,16	0,17
	SP2	0,16	0,17
	SP1	0,17	0,26
	SP0 (Hilir)	0,19	0,17

Contoh perhitungan kedalaman aliran:

Diketahui:

- Lebar saluran = 22 m (Gambar 1)
- Koefisien Manning (n) = 0,013 (Tabel 2)
- Kemiringan Dasar saluran (S) = 0,0040 (Gambar 2)
- Kedalaman aliran (hn) = 0,22 (Tabel 3)
- Ditanyakan : kecepatan aliran (v).....?

Penyelesaian :

1. Menghitung luas penampang basah (A)

$$A = b \times h_n$$

$$A = 22 \times 0,22$$

$$A = 4,73 \text{ m}^2$$

2. Menghitung keliling basah (P)

$$P = b + 2 \times 0,22$$

$$P = 22 + 2 \times 0,22$$

$$P = 22,43 \text{ m}$$

3. Menentukan jari-jari hidrolis

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{4,73}{22,43}$$

$$R = 0,211 \text{ m}$$

4. Menentukan Kecepatan Aliran Manning (v)

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$v = \frac{1}{0,013} 0,211^{2/3} \times 0,7 \times 0,002^{1/2} \times 0,5$$

$$v = 1,06 \text{ m/dtk}$$

5. Debit

$$Q = V \times A$$

$$Q = 1,2054 \times 4,2$$

$$Q = 5,0 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

3. Perhitungan indeks kavitasi

Perhitungan indeks kavitasi dengan persamaan (7), (8), (9).

$$\sigma = \frac{p_o - p_v}{\rho \frac{v^2}{2}} \dots\dots\dots(7)$$

$$p_o = p_a + p_g \dots\dots\dots(8)$$

$$p_g = \rho \cdot g \cdot h \dots\dots\dots(9)$$

Dengan :

- σ = indeks Kavitasi
- p_o = ambient pressure (kpa)
- p_a = tekanan atmosfer (101 kpa)
- p_g = $\rho \cdot g \cdot h$ tekanan setempat (kpa)
- H = tinggi muka air
- p_v = tekanan uap (kpa)
- ρ = massa jenis cairan (kg/m³)
- V_o = kecepatan aliran (m/dtk)

Contoh perhitungan nilai indeks kavitasi pada Bulan Januari tahun 2022 menggunakan persamaan (2) yaitu:

Diketahui:

- h = 0,22 m
- T = 22,65 C°
- vo = 1,06 m/dt
- ρ = 997,613 kg/m³
- g = 9,81 m/s²
- pg = (0,22) x (9,81) x (997,613) = 2.100 Pa
- = 2,10 Kpa
- pa = 101 kpa
- po = (2,10) + (101) = 103,10 kpa
- pv = 2,77 kpa

Ditanyakan Indeks Kavitasasi (σ).....?

penyelesaian perhitungan indeks kavitasasi

$$\sigma = \frac{p_o - p_v}{\rho \frac{v_o^2}{2}} = \frac{103,10 - 2,77}{997,631 \frac{1,06^2}{2}} = 180,55$$

4. Klasifikasi indek kavitasasi terhadap resiko kerusakan Akibat kavitasasi padasaluran peluncur pelimpah Bendungan Karalloe

Tabel 4 Klasifikasi Indeks Kavitasasi

DEBIT	STA	Hasil perhitungan kavitasasi secara manual	Hasil Perhitungan kavitasasi secara komputasi	klasifikasi	Level Kavitasasi	Deskripsi
Tabel 1	Tabel 1	Tabel 5	Tabel 7		Tabel 2	Tabel 2
1	2	3	4	3	4	5
Q5	SP11 (Hulu)	180,55	116,70	$\sigma > 1$	1	no kavitasasi demag
	SP10	99,21	116,70	$\sigma > 1$	1	no kavitasasi demag
	SP9	99,21	116,70	$\sigma > 1$	1	no kavitasasi demag
	SP8	99,21	116,70	$\sigma > 1$	1	no kavitasasi demag
	SP7	99,21	116,70	$\sigma > 1$	1	no kavitasasi demag
	SP6	99,21	116,70	$\sigma > 1$	1	no kavitasasi demag
	SP5	99,21	116,70	$\sigma > 1$	1	no kavitasasi demag
	SP4	99,21	116,70	$\sigma > 1$	1	no kavitasasi demag
	SP3	99,21	116,70	$\sigma > 1$	1	no kavitasasi demag
	SP2	99,21	116,70	$\sigma > 1$	1	no kavitasasi demag
	SP1	111,15	249,42	$\sigma > 1$	1	no kavitasasi demag
	SP0 (Hilir)	138,10	116,70	$\sigma > 1$	1	no kavitasasi demag

Berdasarkan hasil klasifikasi terhadap nilai indeks kavitasasi yang terjadi selama air melimpas pada saluran peluncur pelimpah bendungan Karalloe diperoleh klasifikasi bahwa nilai indek kavitasasi lebih besar dari 1 ($\sigma > 1$) masuk dalam level 1 ini berarti bahwa tidak terjadi aliran negatif atau kavitasasi pada saluran peluncur pelimpah Bendungan Karalloe atau saluran peluncur masuk dalam kategori Aman terhadap kavitasasi (tidak terjadi kavitasasi).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, disimpulkan bahwa:

1. Nilai indeks kavitasasi yang terjadi pada saluran peluncur pelimpah Bendungan Karalloe bervariasi setiap bulannya yang dipengaruhi oleh debit, kecepatan, kedalaman air dan temperatur untuk nilai indeks kavitasasi terbesar dengan cara manual sebesar 180,70 terjadi pada bulan Maret pada debit q5 dan nilai indeks kavitasasi terkecil secara manual sebesar 4,54 terjadi pada bulan Februari pada debit q350. Untuk cara komputasi nilai indeks kavitasasi terbesar 249,42 terjadi pada bulan januari pada debit q5, dan nilai indeks kavitasasi terkecil secara komputasi sebesar 8,74 terjadi pada bulan Februari pada debit q350.

2. Berdasarkan hasil klasifikasi terhadap nilai indeks kavitasasi yang terjadi pada saluran peluncur pelimpah bendungan Karalloe diperoleh klasifikasi bahwa nilai indeks kavitasasi lebih besar dari 1 ($\sigma > 1$) masuk dalam level 1 yang berarti bahwa tidak terjadi aliran negatif atau kavitasasi pada saluran peluncur pelimpah Bendungan Karalloe atau saluran peluncur masuk dalam kategori Aman terhadap kavitasasi.

REFERENSI

Aniek, Masrevaniah. (2012). *Konstruksi Bendungan Urugan Pelimpah Volume2*. Malang : Asori. S

Aulia, N., Dermawan, V. and Cahya, E. nur (2021) ‘Kajian Hidrolika Aliran Bangunan Pelimpah Samping (Side Channel Spillway) Bendungan Beringin Sila Kabupaten Sumbawa’, *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(2), pp. 711–721.

Chow, Ven Te. 1989. *Hidraulika Saluran Terbuka, Terjemahan E.V. Nensi Rosalina*. Jakarta: Erlangga

Faudli, I., Azmeri, A. and Refika, C.D. (2021) ‘Analisis Kavitasasi pada Saluran Transisi dan Peluncur Pelimpah Bendungan Kluet – Model Fisik Skala 1:60’, *Jurnal Teknik Sipil*, 28(2), pp. 173–178

Fujikawa dan Akamatsu, (1980), *Kavitasasi di Dasar Saluran Curam*, Unnes, Dr. Eng. Yeri sutopo, M,T.,M,PD.

Kurniawan, F.A. and Siregar, G.G.P. (2022) *Evaluasi Aliran Getar dan Kavitasasi Pelimpah Bendungan Dolok*. ‘Skripsi IKLU s’, 8(1), pp. 37–46.

Nisa, H. et al. (2022) ‘Analisis Kavitasasi dan Aliran Getar Pada Model Fisik Saluran Peluncur Bendungan Krueng Sabee Kabupaten Aceh Jaya’, 4, pp. 218–22

Nurnawaty and Rakhim, A. (2018) ‘Rembesan Air Pada Model Bendungan Urugan Tanah Dengan Variasi Tinggi Hidrostatik’, (gambar 1), pp. 159–165.

Roberson dkk, 2014, p.386 penyebab kavitasi (tekanan dinamis) disebut "*indeks kavitasi*", repository Ayu Fardiana

Sosrodarsono, Suyono dan Tekeda, Kensaku. (1989). *Bendungan Type Urugan*. Jakarta : Erlangga

Sudiyono dkk (2014), *Kecepatan aliran dengan luas tampang basah saluran* Jakarta: Erlangga

Tomita dan Shima, (1986). *sonic velocity* ultra jet menyerupai kecepatan bunyi di dalam aliran. [Lib.unnes.ac.id/36716/1/kavitasi_Di_Dasar_Saluran_Curam](http://lib.unnes.ac.id/36716/1/kavitasi_Di_Dasar_Saluran_Curam).