

Kajian Model Fisik Perbandingan Perilaku Aliran pada Bendung dengan Kolam Olak tipe USBR II, III, IV

Study of Physical Model Comparison of Flow Behavior in Weirs USBR II, III, IV

Dannyk Nur Agustin¹Noor Salim^{2*}Nanang Saiful Rizal

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : dannyknur@gmail.com

²Dosen Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember *Koresponden Author
Email : noorsalim@unmuhjember.ac.id

³Dosen Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : nanangsaifulrizal@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Cara kerja pemecah energi air pada bangunan air yaitu dengan cara membuat gesekan air dengan lantai serta dinding struktur, membentuk pusaran air dan menghasilkan benturan aliran ke struktur serta menciptakan loncatan air di dalam ruang olakan. Ada beberapa model kolam olak atau peredam energi, salah satunya yaitu kolam olak tipe USBR. Untuk menguji perilaku Hidrolika ini perlu dilakukan uji model fisik di Laboratorium Hidraulika. Besar debit (Q) yang digunakan 0,004 m³/detik, 0,003 m³/detik, 0,002 m³/detik, 0,001 m³/detik, 0,0006 m³/detik. Pengaruh V (kecepatan aliran) sangat dipengaruhi oleh reaksi terjadinya loncatan hidrolis, dimana untuk hasilnya V_0 relatif sama dikarenakan menggunakan tipe mercu ogee, hasil V_1 memiliki nilai tidak jauh berbeda disebabkan kemiringan yang sama yang membuat berbeda yaitu dari blok-blok penghalang, dan untuk hasil V_2 yang memiliki nilai tinggi adalah USBR III nilai 1,789 m /detik dengan debit (Q) 0,004 m³/detik. Nilai rerata kedalaman air di awal loncat air (Y_1) yang memiliki nilai yang besar yaitu USBR tipe III = 0,0212 m dan nilai kedalaman di ambang ujung (Y_2) yaitu tipe III = 0,0654 m. Disimpulkan kolam olak tipe USBR III memiliki rerata kedalaman loncatan dan mampu menimbulkan olakan (turbulensi).

Kata Kunci : Model, Fisik, Kolam, Olak, USBR.

Abstract

How solvers work Water energy in water structures is by creating water friction with the floor and walls of the structure, forming a whirlpool and producing a flow collision to the structure, and creating a water jump in the tidal chamber. There are several models of stilling pools or energy absorbers, one of which is the USBR type stilling pool. To test this hydraulic behavior, it is necessary to test a physical model in the Hydraulics Laboratory. The amount of discharge (Q) used is 0.004 m³/second, 0.003 m³/second, 0.002 m³/second, 0.001 m³/second, 0.0006 m³/second. The effect of V (flow velocity) is strongly influenced by the reaction to the occurrence of a hydraulic jump, where for the results V_0 is relatively the same due to using the ogee light type, the V_1 has a value that is not much different due to the same slope that makes the difference, namely from the block blocks, and for the V_2 result which has a high value is USBR III with a value of 1.789 m / sec with a discharge (Q) of 0.004 m³/ sec. The average value of the water depth at the beginning of the water jump (Y_1) which has a large value is USBR type III = 0.0212 m and the depth value at the end threshold (Y_2) is type III = 0.0654 m. It was concluded that the USBR III stilling pool has an average jump depth and is capable of causing turbulence.

Keywords: Model, Physical, Swimming, Olak, USBR.

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Loncatan hidrolis diakibatkan oleh pengaruh variasi debit yang mempengaruhi tinggi serta panjang loncatan hidrolis. Masalah ini sering berlangsung pada salah satu bagian hilir disebut bangunan hidrolis sebagai dampak dari terjadi pada kecepatan air, loncatan air yang terlalu tajam, serta turbulensi yang melebihi daya tahan dari material dasar. Untuk menghindari rusaknya bangunan hidrolis, dibutuhkan kolam olak atau peredam energi.

Pada dasarnya pemecah energi air pada bangunan peredam energi yaitu dengan metode menciptakan gesekan air dengan lantai serta dinding struktur, gesekan air dengan air, membuat pusaran air berbalik vertikal arah ke atas dan ke bawah dan pusaran arah horizontal serta membuat benturan aliran ke struktur dan membuat loncatan air di dalam ruang olakkan. Ada beberapa model kolam olak atau peredam energi yang dapat digunakan dalam menanganinya bahaya pegerusan, salah satunya yaitu kolam olak tipe USBR. Uji model fisik ini akan dilakukan di Laboratorium Hidraulika Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember.

B. Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kolak olak tipe USBR II, III dan IV terhadap kecepatan aliran?
2. Bagaimana pengaruh kolak olak terhadap tinggi loncat air?
3. Bagaimana mengetahui karakteristik aliran pada hilir bendung dengan tipe kolam olak USBR?

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Geometri Saluran

Penampang saluran biasanya sangat tidak beraturan, umumnya beraneka ragam dari ukuran seperti trapezium sampai parabola. Penampang vertikal melalui titik terbawah atau terendah dari penampang disebut penampang vertikal saluran (*vertical channel section*) sedangkan tegak lurus terhadap arah aliran

adalah istilah dari penampang saluran (*channel section*). Oleh karena itu pada saluran mendatar penampangnya selalu merupakan penampang vertikal.

Rumus – rumus menghitung penampang saluran sebagai berikut:

$$\text{Luas penampang (A)} = b \cdot h$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2h$$

$$\text{Jari-jari Hidrolik (R)} = bh / b + 2h$$

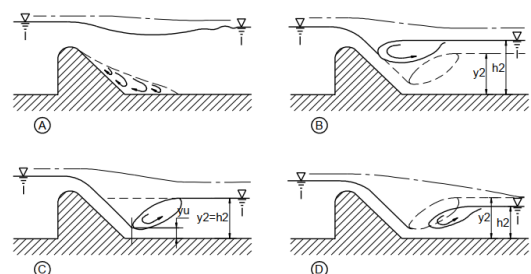
dengan:

b = Lebar dasar saluran (m)

h = Tinggi muka air (m)

B. Peredam Energi

Perilaku aliran sungai dengan menggunakan pembendungan memperlihatkan beragam perilaku aliran pada awal loncatan bendung dikarenakan ketinggian air yang ada h₂. Gambar 1 memperlihatkan yang sedang terjadi dari perilaku aliran di atas bendung. Kasus A memperlihatkan aliran tenggelam yang menyebabkan sedikit saja gangguan di permukaan berupa munculnya ombak. Kasus B memperlihatkan loncatan tenggelam yang lebih ditimbulkan oleh ketinggian air hilir yang lebih tinggi, daripada ketinggian konjugasi. Kasus C merupakan peristiwa loncat air dengan ketinggian air hilir sama dengan ketinggian konjugasi loncat air tersebut. Kasus D terjadi apabila ketinggian air hilir kurang dari ketinggian konjugasi, dalam hal ini loncatan akan bergerak ke hilir. (*Standart Perencanaan irigasi KP – 02, 1986*)



Gambar 1. Peredam energi

Sumber : *Standart Perencanaan irigasi KP – 02, 1986*

seluruh tahapan dapat terjadi di bagian hilir bendung yang di bangun di sungai. Kasus D merupakan peristiwa yang tidak dianjurkan terjadi, disebabkan loncatan air akan

menghempas bagian sungai yang tidak dilindungi serta biasanya mengakibatkan penggerusan luas (*Standart Perencanaan irigasi KP – 02, 1986*).

C. Kolam Loncat Air

Cara mendapatkan debit yang akan diberikan dalam suasana untuk peredaman energi, keseluruhan debit wajib diperiksa dengan muka air hilirnya. Gambar 2 menyampaikan kejelasan mengenai metode perencanaan kolam loncat air, dari grafik H_1 versus q serta tinggi jatuh (z), kecepatan awal loncatan (V_1) dapat ditemukan dari:

$$V_1 = \sqrt{2g \left(\frac{1}{2} H_1 + Z \right)}$$

dengan:

- V_1 = Kecepatan awal loncatan (m/detik)
- g = Percepatan gravitasi (m/detik²)
- H_1 = Tinggi energi di atas ambang (m)
- Z = Tinggi jatuh (m)

dengan $q = V_1 \cdot Y_1$, rumus untuk kedalam konjugasi dalam loncat air adalah:

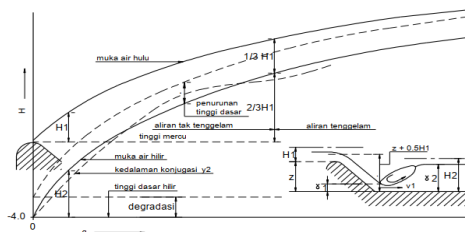
$$\frac{Y_2}{Y_u} = 0,5 (\sqrt{1 + 8F_r^2} - 1)$$

$$F_r = \frac{V_1}{\sqrt{g Y_u}}$$

dengan :

- Y_2 = Tinggi air di atas ambang ujung (m)
- Y_u = Kedalaman air di awal loncat air (m)
- Fr = Bilangan *froude*
- V_1 = Kecepatan awal loncatan (m/detik)
- g = Percepatan gravitasi (m/detik²)

Ketinggian konjugasi di setiap q dapat ditentukan serta diplot, untuk mengontrol supaya loncatan tetap dekat dengan muka miring bendung dan di atas lantai, maka lantai harus diturunkan hingga ketinggian air hilir sekurang-kurangnya sama dengan ketinggian konjugasi untuk aliran tenggelam, yaitu bila muka air hilir lebih tinggi dari $2/3 H_1$ di atas mercu, tidak dibutuhkan peredam energi.



Gambar 2. Metode Perencanaan Kolam Loncat
 Sumber : Standart Perencanaan irigasi KP – 02, 1986

Untuk mengetahui aspek lain yang sehubungan dengan kedalaman air banjir di atas bendung, maka dilakukan perhitungan seperti berikut ini:

- a. Debit persatuan lebar (q)

$$q = Q/Be$$

dengan:

- q = Debit persatuan lebar (m³/detik.m')
- Q = Debit banjir rencana (m³/detik)
- Be = Lebar efektif bendung (m)

- b. Kecepatan aliran di hulu bendung (V)

$$V = \frac{q}{(p + H_1)}$$

dengan:

- V = Kecepatan aliran (m/detik)
- q = Debit persatuan lebar (m³/detik.m')
- P = Tinggi mercu (m)
- H_1 = Tinggi energi di atas mercu (m)

- c. Kecepatan air di hulu bendung (V)

$$H_a = v^2/2g$$

dengan:

- H_a = Tinggi kecepatan energi (m)
- V = Kecepatan aliran (m/detik)
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/detik²)

- d. Kecepatan air di hulu bendung (V)

$$H_d = H_1 - H_a$$

dengan:

- H_d = Tinggi muka air di hulu bendung (m)
- H_1 = Tinggi energi di atas mercu (m)
- H_a = tinggi kecepatan energi (m)

- e. Kedalaman air kritis (H_c)

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

dengan:

- H_c = Tinggi air kritis (m)
- q = Debit persatuan lebar (m³/detik.m')
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/detik²)

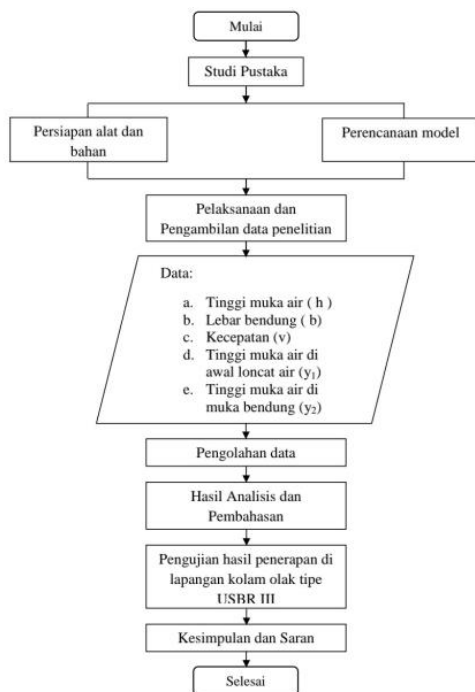
- f. Kedalaman air kritis (H_c)

$$Y_1 = \frac{q}{V_1}$$

mencari pengaruh antara perbedaan antara kolam olak tipe USBR II, III, IV dan debit aliran terhadap tinggi loncat air serta karakteristik aliran.

B. Kerangka Konsep Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, dan tujuan penelitian yang telah dijelaskan, maka dapat ditentukan kerangka konsep penelitian disajikan pada gambar 7:



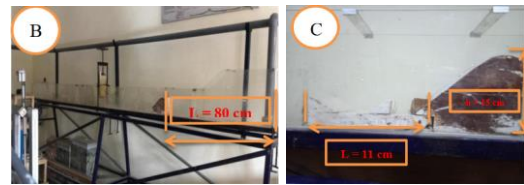
Gambar 7. Kerangka Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

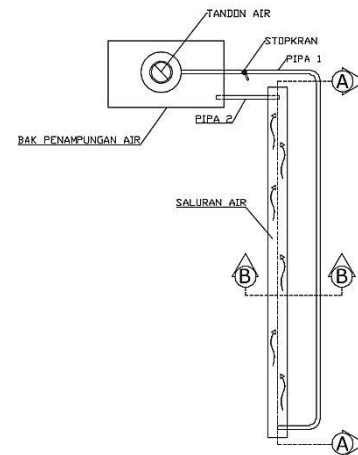
A. Analisa Model Uji Penelitian

Dimensi mercu

- Lebar saluran (B) : 0,15 m
- Elevasi pelimpah (p) : 0,15 m
- Debit rencana (Q) : 0,004 m³/detik



Gambar 7. model fisik dan detail saluran
 sumber: Dokumentasi pribadi



Gambar 8. Denah model fisik
 Sumber : Gambar mercu autocad 2007

B. Perhitungan mercu

Perhitungan mercu menggunakan mercu tipe *ogee*, karena mengantisipasi terjadinya tekanan sub atmosfer pada permukaan mercu saat bendung mengalir air pada debit rencana serta untuk debit yang lebih rendah, air akan menerima tekanan ke bawah pada mercu.

Data-datanya sebagai berikut:

- Lebar Bendung (B) : 0,15 m
- Lebar mercu (Bm) : $B - (B_p \text{ total} + T_p \text{ total})$
 $= 0,15 \text{ m} - (0+0)$
 $= 0,15 \text{ m}$
- Lebar Efektif Bendung (Be) : $B_m - (2(n.k_p + k_a) H_1)$
 $= 0,15 - (2(0) H_1)$
 $= 0,15 - 0H_1$
- Elevasi Mercu Bendung (P) : 0,15 m
- Debit air (Q) : 0,002 m³/detik
- Percepatan Gravitasi : 9,81 m/detik²

Perhitungan tinggi air diatas mercu dilakukan dengan cara asumsi memasukan nilai H₁ dan Cd. Sampai didapat nilai Cd hitung serta debit rencana dengan debit hitung Dicoba:

$$\begin{aligned}
 H_1 &= 0,055 \text{ m} \\
 C_d &= 1,29 \text{ m} \\
 Q &= C_d \times 2/3 \times (2/3 \times g)^{1/2} \times B_e \times H_1^{2/3} \\
 0,002 &= 1,29 \times 0,66 \times (0,66 \times 9,81^{0,5}) \times 0,15 \times (0,055^{0,66}) \\
 0,002 &= 0,004 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Faktor lain yang mempengaruhi tinggi energy diatas mercu (H_1) yaitu:

Debit Persatuan Lebar (q)

$$\begin{aligned}
 q &= Q / B_e \\
 &= 0,0023/0,15 \\
 &= 0,015 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Kecepatan air di hulu Bendung (V)

$$\begin{aligned}
 V &= q / (P + H_1) \\
 &= 0,015/(0,15+0,055) \\
 &= 0,075 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

Tinggi Kecepatan Energi (H_a)

$$\begin{aligned}
 H_a &= V^2 / 2g \\
 &= 0,1082/(2 \times 9,81) \\
 &= 0,0003 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tinggi muka air di atas bendung

$$\begin{aligned}
 H_d &= H_1 - H_a \\
 &= 0,055 - 0,000286 \\
 &= 0,055 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kedalaman air kritis (H_c)

$$\begin{aligned}
 H_c &= (q / g)^{2/3} \\
 &= (0,025/9,81)^{0,66} \\
 &= 0,020 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$H_1 / H_d = 1,005$$

$$P / H_d = 2,742$$

$$P / H_1 = 2,727$$

$$\text{Konstanta } (C_0) = 1,3$$

$$(\text{Grafik } C_1) = 0,999$$

$$(\text{Grafik } C_2) = 0,992$$

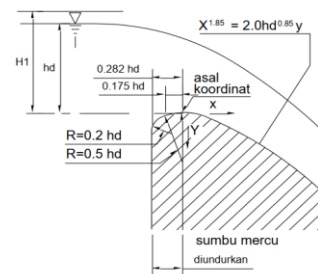
Dari nilai di atas di dapat:

$$\begin{aligned}
 C_d (\text{Coba}) &= C_d (\text{Hitung}) \\
 1,29 &= C_0 \times C_1 \times C_2 \\
 1,29 &= (1,3 \times 0,999 \times 0,992) \\
 1,29 &= 1,29
 \end{aligned}$$

Karena nilai C_d coba sama dengan C_d hitung, maka nilai C_d dapat diterima.

C. Perhitungan Jari – jari mercu

Perencanaan Mercu Tipe Ogee No.1 dengan kemiringan permukaan hulu bendung vertikal. Oleh sebab itu mercu ini mustahil menimbulkan diwaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Dengan nilai $K = 2$ dan $n = 1,850$. Perhitungan dimensi jari-jari mercu bendung dihitung dengan persamaan berikut:



Gambar 9. Perencanaan Mercu Ogee dengan permukaan vertikal

Sumber : Gambar mercu autocad 2007

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 0.5 \times H_d \\
 &= 0,027 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak } R_1 &= 0.175 \times H_d \\
 &= 0,096 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_2 &= 0.2 \times H_d \\
 &= 0,011 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak } R_2 &= 0.282 \times H_d \\
 &= 0,015 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{1,85} &= 2.0 \times H_d^{0.85} \times Y \\
 &= 2 \times 0,085 \times Y \\
 &= 0,169 \times Y
 \end{aligned}$$

$$Y = 5,910 \times X^{1.85}$$

Misal :

$$Y' = 5,910 \times 1,85 \times X^{0.85}$$

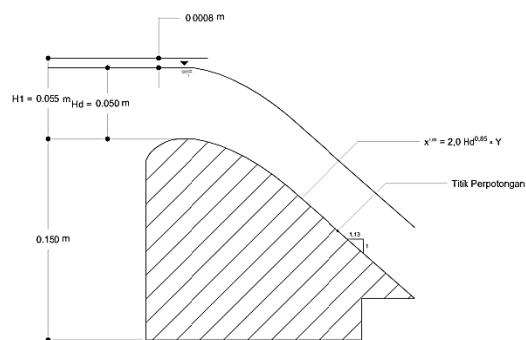
$$Y' = 10,933 \times X^{0.85}$$

Titik awal melalui gradien

Misal :

$$\begin{aligned} Y' &= 1 \\ 1 &= 10,9334 \times X^{0,85} \\ X^{0,85} &= 0,092 \\ X &= 0,060 \\ Y' &= 5,910 \times 0,060^{1,85} \\ &= 0,032 \end{aligned}$$

Jadi koordinat titik potong mercu 0,060 : 0,0324



Gambar 10. Jari – jari mercu Ogee tipe vertikal
 Sumber : Gambar mercu autocad 2007

D. Kolam Loncat Air

Perhitungan kolam loncat dihitung dengan data-data sebagai berikut:

Tinggi energy air banjir diatas mercu (H)

$$= 0,55 \text{ m}$$

Elevasi mercu

$$= + 0,15 \text{ m}$$

Elevasi kolam loncat air

$$= + 0,10 \text{ m}$$

Percepatan gravitasi (g)

$$= 9,81 \text{ m/detik}^2$$

Beda tinggi mercu dan kolam olak (z) Kolum

$$\begin{aligned} &= (\text{Elevasi mercu} - \text{Elevasi Kolam} \\ &\text{loncat air}) \\ &= (0,15 - 0,1) \\ &= 0,05 \text{ m} \end{aligned}$$

Kecepatan awal loncatan (V1)

$$\begin{aligned} &= \sqrt{(2g (1/2 H_1 + Z))} \\ &= \sqrt{(2 \times 9,81 (1/2 \times 0,055 + 0,05))} \\ &= 0,768 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Tinggi air pada titik V (Yu)

$$\begin{aligned} Q &= A \times V \\ &= b \times h \times V \\ h(Y_u) &= Q / (b \times V_1) \\ &= 0,002 / (0,15 \times 0,7678) \\ &= 0,020 \text{ m} \end{aligned}$$

Kedalaman Konjugasi Loncat Air (Y2)

$$\begin{aligned} Y_2/Y_U &= 1/2 \sqrt{(1 + (8Fr^2))} - 1 \\ Fr &= V1 / \sqrt{(g \cdot Y_u)} \\ &= 0,768 / \sqrt{(9,81 \times 0,0199)} \\ &= 1,734 \\ Y_2/Y_U &= 0,5 \times \sqrt{(1 + (8 \times 1,73^2))} - 1 \\ &= 2,005 \\ Y_2 &= 2,211 \times 0,027 \\ &= 0,040 \text{ m} \end{aligned}$$

E. Perencanaan Kolam Olakan

Dimensi kolam olak tipe USBR III

Panjang lantai olakan (Lj)

$$\begin{aligned} &= 2,7 \times Y_2 \\ &= 2,7 \times 0,040 \\ &= 0,108 \text{ m} \end{aligned}$$

Blok-blok penghalang (nj)

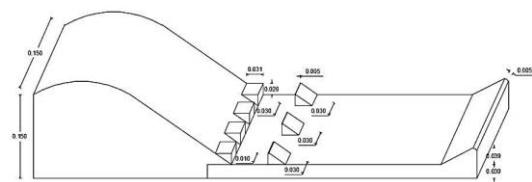
$$\begin{aligned} &= Y_u \times (4 + Fr) / 6 \\ &= 0,020 \times (18 + 1,734) / 6 \\ &= 0,019 \text{ m} \end{aligned}$$

Endsill (n)

$$\begin{aligned} &= Y_u \times (18 + Fr) / 10 \\ &= 0,020 \times (18 + 1,734) / 10 \\ &= 0,039 \text{ m} \end{aligned}$$

Jarak Blok muka dengan Blok tengah

$$\begin{aligned} &= 0,82 \times Y_2 \\ &= 0,82 \times 0,040 \\ &= 0,033 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 10. Bendung tipe ogee dan kolam olak tipe USBR III

Sumber : Gambar mercu autocad 2007

F. Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan dalam mendapatkan data primer untuk penelitian yaitu dengan percobaan langsung di laboratorium.



Gambar 12. Persiapan uji model fisik
 Sumber : Dokumntasi Pribadi

Pengujian aliran dimulai dengan mengalirkan aliran sepanjang *flume* melalui bendung *ogee* dengan lima variasi debit memakai pompa listrik. Besar debit (Q) yang digunakan 0,004 m³/detik, 0,003 m³/detik, 0,002 m³/detik, 0,001 m³/detik, 0,0006 m³/detik. Dengan dimensi saluran yaitu:

Panjang flume = 4,1 m
 Lebar flume = 0,15 m
 Tinggi flume = 0,24 m

Menghitung waktu dibuat beberapa kali trial untuk mendapatkan waktu rata-rata air di flume.

$$\text{Waktu (t)} = \frac{(t_1+t_2+t_3)}{3}$$

$$\text{Waktu (t)} = \frac{(5,54+5,98+5,04)}{3} = 5,52 \text{ detik}$$

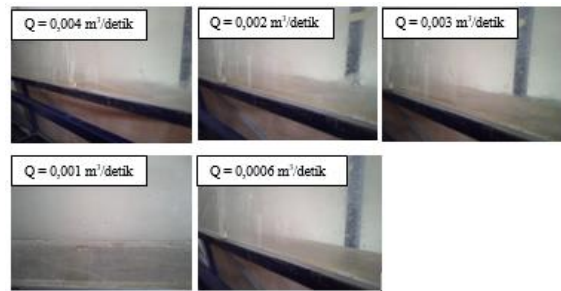
Kecepatan awal aliran didapatkan sebelum aliran dibendung. Pengujian dilakukan secara manual dengan cara menggunakan bahan yang mudah mengapung, dapat disajikan pada gambar 13 dan untuk mengetahui hasil dari kecepatan aliran tersebut, menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V &= s / t \\ &= 4,1 / 4,56 \\ &= 0,899 \text{ m / detik} \end{aligned}$$

dengan:

s = Panjang flume (m)

t = waktu (m)



Gambar 13 kecepatan dan debit variasi aliran
 Sumber : Dokumntasi Pribadi

Untuk menghitung besarnya debit, diperlukan menghitung luas penampang basah dengan memenuhi persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A &= B \times h \\ &= 0,15 \times 0,02 \\ &= 0,03 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

dengan :

B = Lebar flume (m)

h = Ketinggian air (m)

Setelah didapatkan kecepatan aliran, dan luas penampang basah, kemudian menghitung besarnya debit, perlu menghitung besarnya debit yang mengalir di *flume*, menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} Q &= A \times V \\ &= 0,03 \times 0,0885 \\ &= 0,004 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

dengan :

A = Luas penampang basah (m²)

V = Kecepatan aliran (m/detik)

Data hasil perhitungan debit dan uji aliran yang dilakukan, dapat disajikan secara lengkap pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Debit Aliran

b	t	h	V	A	Q
(m)	(detik)	(m)	(m/detik)	(m ²)	(m ³ /detik)
0,15	4,56	0,030	0,899	0,005	0,004
	5,23	0,025	0,784	0,004	0,003
	5,52	0,020	0,743	0,003	0,002
	6,51	0,015	0,630	0,002	0,001
	9,72	0,010	0,422	0,002	0,0006

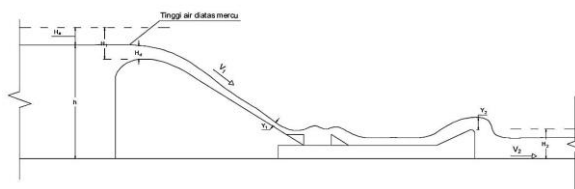
Sumber: hasil Perhitungan

G. Pengolahan data

Selanjutnya dibuat analisa data dengan memakai data hasil pengukuran serta perhitungan secara langsung pada benda uji. Adapun titik – titik pengukuran muka air pada bendung mercu ogee dan kolam olak USBR disajikan pada gambar 4.10. pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *flume* yang ada di laboratoium. Data penelitian yang harus di cari meliputi :

- Ketinggian aliran,
- Kecepatan aliran,
- Pengukuran tinggi dan panjang loncatan air.

Analisa yang dilakukan mencakupi menghitung kecepatan aliran di hulu bendung (V_0) dan menghitung kecepatan aliran setelah loncatan (V_2). Kecepatan awal loncatan air (V_1), kedalaman awal loncat air (Y_1). Tinggi kecepatan energi (H_a), tinggi loncatan air (Y_2), bilangan froude (Fr), tinggi air diatas bendung (H_d) dan panjang loncatan air (L_j). Penjabaran secara detail dapat disajikan pada gambar 14.



Gambar 14 Parameter data yang diolah
 Sumber : Gambar mercu autocad 2007

H. Ketinggian muka air

Ketinggian muka air diperlukan untuk menghitung beda tinggi energi. Hasil pengukuran ketinggian muka air di hulu mercu (h) dapat disajikan pada tabel 4.2 dengan persamaan sebagai berikut :

$$H_d = H_1 - H_a$$

$$= 0,084 - 0,038$$

$$= 0,046 \text{ m}$$

dengan:

H_d = Tinggi muka air di hulu bendung (m)

H_1 = Tinggi energi di atas mercu (m)

H_a = Tinggi kecepatan energi (m)

Menghitung tinggi kecepatan energi (H_a) yaitu menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_a = V^2 / 2g$$

$$= 0,8992/2 \times 9,81$$

$$= 0,038 \text{ m}$$

dengan :

V = Kecepatan aliran (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (m/detik²)

Kemudian untuk menghitung kedalaman air kritis (H_c) digunakan persamaan berikut:

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{0,0004^2}{9,81}}$$

$$= 0,003 \text{ m}$$

dengan:

H_c = Ketinggian air kritis (m)

q = Debit persatuan lebar (m³/detik.m')

g = Percepatan gravitasi (m/detik²)

Tabel 2 Perhitungan tinggi air banjir dengan variasi debit

No	b	h	Hd	Ha	Q	Hc	q
	m	m	m	m	m ³ /detik		m ³ /detik.m'
1	0,15	0,203	0,053	0,093	0,004	0,034	0,020
2	0,15	0,199	0,049	0,055	0,003	0,029	0,015
3	0,15	0,196	0,046	0,038	0,002	0,024	0,011
4	0,15	0,189	0,039	0,023	0,001	0,014	0,005
5	0,15	0,184	0,034	0,017	0,0006	0,011	0,003

Sumber: hasil Perhitungan

I. Tinggi energi air

Salah satu parameter loncatan hidrolis yang dihitung yaitu tinggi energi. Kecepatan aliran diukur kemudian dihitung, sedangkan pengamatan kedalaman air diatas ambang ujung hanya diukur di kolam olak. Sedangkan untuk mencari tinggi energi yaitu dengan cara menghitung dan mengolah data, selanjutnya menghitung tinggi energi air di hulu serta hilir dapat disajikan pada tabel 3 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_1 = Y + v^2/2g$$

Dengan :

Y = ketinggian awal loncat air (m)

V_1 = kecepatan awal loncatan (m/detik)

g = percepatan gravitasi (m/detik²)

Tabel 3 Perhitungan tinggi energi dengan variasi debit

USBR TIPE	Q (m ³ /detik)	H ₁ (m)	H ₂ (m)
II	0,004	0,145	0,020
	0,003	0,104	0,018
	0,002	0,084	0,015
	0,001	0,062	0,007
	0,001	0,051	0,005
III	0,004	0,145	0,015
	0,003	0,104	0,013
	0,002	0,084	0,010
	0,001	0,062	0,008
	0,001	0,051	0,006
IV	0,004	0,145	0,022
	0,003	0,104	0,017
	0,002	0,084	0,015
	0,001	0,062	0,009
	0,001	0,051	0,007

Sumber : hasil Perhitungan

J. Energi Spesifik

Pada keadaan aliran tidak seragam (*non uniform flow*), nilai E dapat berkurang atau bertambah, dalam hal ini kecepatan rata-rata $V = Q / A$, dimana Q = debit aliran (m³/detik) dan A = luas penampang basah (m²). Sehingga untuk mencari nilai E pada setiap penampang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$E_1 = y + \frac{v^2}{2g}$$

$$= y + \frac{1,251^2}{2,981}$$

$$= 0,074 \text{ m}$$

Dengan:

E = energi spesifik (m)

y = kedalaman air (m)

v = kecepatan aliran (m/detik)

g = percepatan gravitasi (m/detik²)

Tabel 4 Perhitungan tinggi energi dengan variasi debit

USBR TIPE	Q (m ³ /detik)	E ₀ (m)	E ₁ (m)	E ₂ (m)
II	0,004	0,204	0,074	0,149
	0,003	0,200	0,064	0,110
	0,002	0,196	0,058	0,090
	0,001	0,189	0,051	0,078
	0,001	0,185	0,046	0,062
III	0,004	0,204	0,093	0,262
	0,003	0,200	0,082	0,201
	0,002	0,196	0,075	0,182
	0,001	0,189	0,058	0,086
	0,001	0,185	0,050	0,060
IV	0,004	0,204	0,079	0,146
	0,003	0,200	0,067	0,124
	0,002	0,196	0,060	0,094
	0,001	0,189	0,051	0,061
	0,001	0,185	0,046	0,044

Sumber: hasil Perhitungan

K. Kecepatan air

Berdasarkan hasil data yang diperoleh dari laboratorium yaitu pengamatan serta pengukuran pada benda uji hidraulik, didapat dengan adanya variasi debit serta kecepatan hidrolis sangat mempengaruhi karakteristik aliran. Berikut pembahasan hasil pengolahan data kecepatan aliran.

Kecepatan di hulu bendung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_0 = s / t$$

$$= 0,8 / 5,82$$

$$= 0,137 \text{ m/detik}$$

Kemudian untuk mengetahui kecepatan awal loncatan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_1 = \sqrt{(2g (\frac{1}{2} H_1 + Z))}$$

$$= \sqrt{(2 \times 9,81 (\frac{1}{2} \times 0,145 + 0,14))}$$

$$= 1,251 \text{ m/detik}$$

Dan untuk persamaan kecepatan setelah loncatan menggunakan persamaan berikut:

$$V_2 = Q / A$$

$$= 0,004 / (H_2 \times B)$$

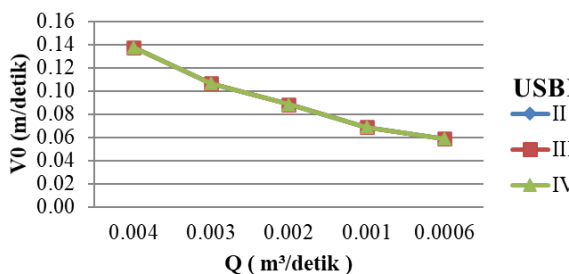
$$= 0,004 / (0,020 \times 0,15)$$

$$= 1,349 \text{ m/detik}$$

Uji hidrolisis pada pengukuran elevasi muka air sesuai dengan debit rencana dalam desain. Maka diperlukan beberapa kali percobaan dengan pengamat tinggi air di berbagai titik pengamatan dengan debit yang berbeda-beda, sehingga memudahkan mengamati tinggi muka air. Selain pengamatan muka air dilakukan juga pengukuran kecepatan atau arus dengan menggunakan alat ukur.

Data kecepatan aliran dapat disajikan pada tabel 5 kemudian dianalisis kedalam grafik. Kecepatan yang diamati yakni kecepatan aliran di hulu bendung (V_0), kecepatan awal loncat (V_1), serta kecepatan setelah loncatan (V_2). Kecepatan di hulu bendung adalah kecepatan yang paling rendah, ini terjadi karena disebabkan adanya efek pembendungan dan kecepatan pada saat loncatan yaitu kecepatan yang paling besar. Penurun kecepatan terjadi pada kolam olak dengan adanya kejadian pusaran air yang akan mengubah bentuk aliran dari superkritis menjadi subkritis. Kejadian turbulensi juga bersifat meredam energi aliran, sehingga energi setelah pusaran relatif lebih tinggi.

Dari analisa dapat diketahui nilai kecepatan aliran di hulu bendung (V_0) relatif sama dikarenakan hanya menggunakan satu tipe mercu yaitu tipe mercu ogee. Untuk grafik kecepatan aliran di hulu bendung (V_0) dapat disajikan pada gambar 5



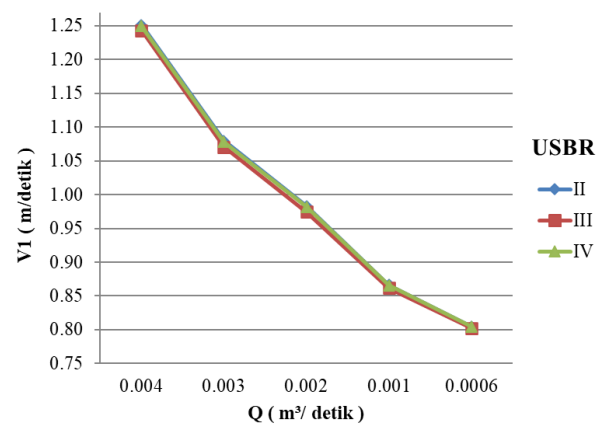
Gambar 15 Grafik kecepatan aliran di hulu bendung (V_0)
 Sumber: hasil Perhitungan

Tabel 5 Kecepatan aliran

USBR TIPE	Q	V_0	V_1	V_2
	m ³ /detik	m/detik	m/detik	m/detik
II	0,004	0,137	1,251	1,349
	0,003	0,106	1,080	1,111
	0,002	0,088	0,983	0,990
	0,001	0,069	0,866	0,952
	0,0006	0,059	0,805	0,844
III	0,004	0,137	1,243	1,798
	0,003	0,106	1,071	1,538
	0,002	0,088	0,974	1,486
	0,001	0,069	0,862	0,889
	0,0006	0,059	0,802	0,703
IV	0,004	0,137	1,249	1,226
	0,003	0,106	1,078	1,176
	0,002	0,088	0,982	0,990
	0,001	0,069	0,866	0,741
	0,0006	0,059	0,805	0,603

II	0,004	0,137	1,251	1,349
	0,003	0,106	1,080	1,111
	0,002	0,088	0,983	0,990
	0,001	0,069	0,866	0,952
	0,0006	0,059	0,805	0,844
III	0,004	0,137	1,243	1,798
	0,003	0,106	1,071	1,538
	0,002	0,088	0,974	1,486
	0,001	0,069	0,862	0,889
	0,0006	0,059	0,802	0,703
IV	0,004	0,137	1,249	1,226
	0,003	0,106	1,078	1,176
	0,002	0,088	0,982	0,990
	0,001	0,069	0,866	0,741
	0,0006	0,059	0,805	0,603

Sumber : hasil Perhitungan

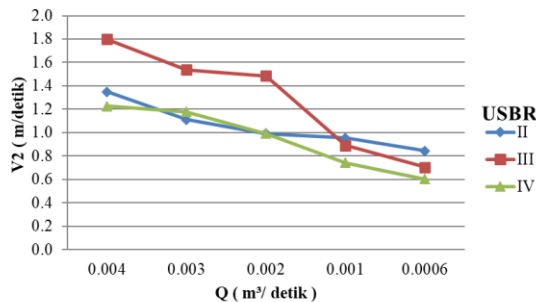


Gambar 16 Grafik kecepatan awal loncatan
 Sumber : hasil Perhitungan

Dari gambar 16 nilai kecepatan awal loncatan tidak jauh berbeda dikarenakan tinggi dan panjang loncatan relatif sama. Hasil dari kecepatan awal loncatan yang memiliki nilai terendah yaitu USBR Tipe III karena blok – blok penghalang muka dengan blok penghalangan tengah yang berfungsi sebagai meredam aliran. Ada empat blok muka yang digunakan dan tiga blok ditengah pada USBR III. Kemudian USBR tipe IV menggunakan tiga blok penghalang di muka dan untuk kecepatan yang paling tinggi yaitu USBR tipe

II menggunakan empat blok penghalang di muka.

Selanjutnya dari gambar 17 dapat disimpulkan bahwa variasi debit pada panjang, tinggi serta blok – blok penghalang sangat mempengaruhi hasil kecepatan aliran. Hasil kecepatan aliran setelah loncatan yang mempunyai nilai paling tinggi yaitu USBR tipe III.



Gambar 17 Grafik kecepatan aliran setelah loncatan (V_2)

L. Loncat air

Loncat air diakibatkan jika tipe saluran turbulen berubah dari aliran superkritis menjadi sub kritis. Dalam saluran terbuka loncat air dapat dicermati ketika air melalui bangunan ukur.

Loncatan hidrolis akan terbentuk jika *flume* pada bilangan *froude* aliran Fr_1 , kedalaman aliran Y_1 , dan Y_2 , memenuhi persamaan sebagai berikut:

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{1}{2} \sqrt{1 + 8Fr^2} - 1$$

Dengan:

Y_1 = Tinggi awal loncat air (m)

Y_2 = Tinggi air di atas ambang ujung (m)

Fr = bilangan Froude

Loncat air adalah bentuk dari salah satu contoh aliran berubah cepat (*rapidly varied flow*). Dari keadaan loncatan air di hilir bendung, bisa mengakibatkan pengurangan energi aliran, untuk mengukur panjang serta tinggi loncatan air tersebut dapat diukur setelah air stabil. Data hasil penelitian dapat disajikan pada tabel 6 dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y = q / V_1$$

Dengan:

q = debit persatuan lebar ($m^3/detik.m'$)

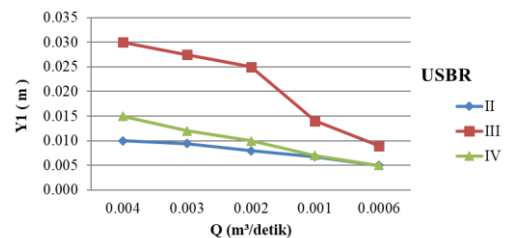
V_1 = kecepatan awal loncatan (m /detik)

Tabel 6 Kedalaman air

USBR	Q	Y_1	Y_2
	($m^3/detik$)	(m)	(m)
II	0,004	0,010	0,057
	0,003	0,009	0,047
	0,002	0,008	0,040
	0,001	0,007	0,032
	0,0006	0,005	0,026
III	0,004	0,030	0,097
	0,003	0,028	0,080
	0,002	0,025	0,070
	0,001	0,014	0,046
	0,0006	0,009	0,034
IV	0,004	0,015	0,069
	0,003	0,012	0,053
	0,002	0,010	0,044
	0,001	0,007	0,033
	0,0006	0,005	0,026

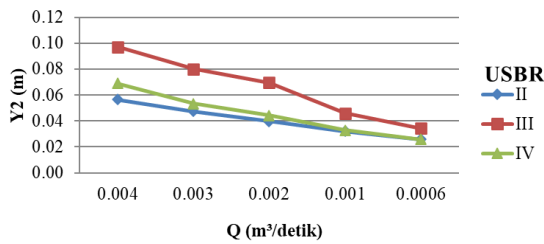
Sumber: hasil Perhitungan

Berdasarkan gambar 18 menunjukkan tinggi kedalaman air di awal loncat air (Y_1) tidak jauh berbeda, hanya saja USBR tipe III lebih tinggi dengan nilai 0,030 m, dibandingkan USBR tipe II, dan tipe USBR IV. Nilai rerata tinggi loncat air (Y_1) yaitu USBR tipe II = 0,0078 m, USBR tipe III = 0,0212 m, USBR IV = 0,0098 m. Dapat disimpulkan USBR tipe III mengalami turbulensi akibat loncat air.



Gambar 18 Grafik kedalaman air di awal loncat air

Sumber: hasil Perhitungan



Gambar 19 Grafik tinggi air di atas ambang ujung
 Sumber: hasil Perhitungan

Untuk tinggi air di atas ambang ujung (Y_2) bisa disajikan pada gambar 4.19 untuk nilai rerata USBR tipe II = 0,0404 m, USBR tipe III = 0,0654 m, USBR IV = 0,0918 m. Dan dapat disimpulkan kolam olak USBR III memiliki nilai paling tinggi di antara tipe USBR yang lainnya.

Tabel 7 bilangan Froude dan panjang loncat air

USBR TIPE	Q	Fr ₀	Fr ₁	Fr ₂	LJ
	m³/detik				m
II	0,004	0,097	3,995	1,812	0,050
	0,003	0,076	3,556	1,632	0,045
	0,002	0,064	3,509	1,587	0,040
	0,001	0,051	3,366	1,696	0,035
	0,001	0,044	3,634	1,680	0,030
III	0,004	0,097	2,292	1,841	0,070
	0,003	0,076	2,062	1,735	0,050
	0,002	0,064	1,968	1,798	0,040
	0,001	0,051	2,325	1,323	0,037
	0,001	0,044	2,700	1,211	0,030
IV	0,004	0,097	3,257	1,489	0,050
	0,003	0,076	3,143	1,626	0,044
	0,002	0,064	3,136	1,502	0,040
	0,001	0,051	3,304	1,308	0,036
	0,001	0,044	3,634	1,200	0,030

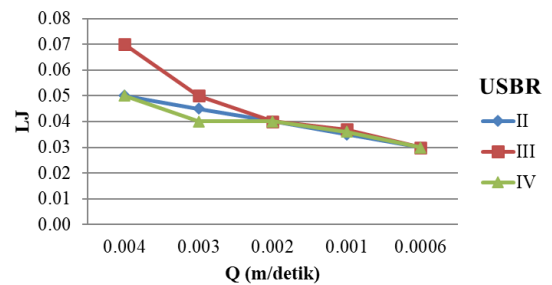
Sumber: hasil Perhitungan

Dilakukan pengujian secara langsung dilaboratorium untuk memperoleh panjang loncat air (Lj) dan dalam persamaanya masih belum dapat dipakai untuk menghitungnya. Panjang Loncatan air (Lj) diukur dari ujung

kolam olak ke titik terjauh dari olakan, hubungan pengaruh tipe kolam olakan dengan panjang loncatan air dipengaruhi oleh besarnya debit aliran.

Pada tabel 7 yang disajikan, dapat terlihat bahwa yang memiliki nilai loncat air dari ketiga tipe USBR tidak jauh berbeda dan nilai paling tinggi yaitu USBR tipe III = 0,070 m.

Dari gambar 20 panjang loncatan air (Lj) dapat terlihat semakin tinggi debit aliran yang melewati bedung maka panjang loncat air juga semakin tinggi. Dapat disimpulkan kolam olak paling efektif itu disesuaikan oleh kebutuhan yang ada dilapangan dan tergantung besar debit yang diperlukan.



Gambar 20 Grafik panjang loncat air

M. Bilangan Froude

Hasil dari bilangan *froude* disajikan pada tabel 7 Untuk menghitung bilangan *froude* pada awal loncat air digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Fr_0 = V_0 / \sqrt{g \cdot h}$$

$$= 0,137 / \sqrt{9,81 \times 0,203}$$

$$= 0,097$$

Bilangan Froude saat kedalaman kritis:

$$Fr_1 = V_1 / \sqrt{g \cdot Y_1}$$

$$= 1,251 / \sqrt{9,81 \times 0,010}$$

$$= 1,841$$

Bilangan Froude saat kedalaman konjugasi:

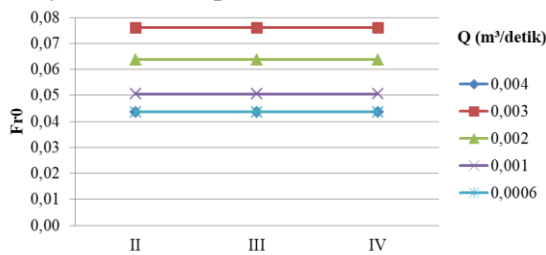
$$Fr_2 = V_2 / \sqrt{g \cdot Y_2}$$

$$= 1,349 / \sqrt{9,81 \times 0,057}$$

$$= 1,812$$

Pengategorian aliran dapat dilaksanakan dengan referensi pada bilangan *froude* (Fr) tak berdimensi, dimana mengacu pada bilangan *froude* yang ada, dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu $Fr < 1,00$ merupakan aliran

subkritis, $Fr = 1,00$ yaitu aliran kritis, dan $Fr > 1,00$ yaitu aliran superkritis.



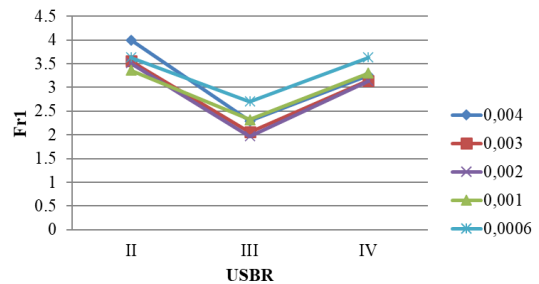
Gambar 21 Grafik Bilangan Fr_0
 Sumber: hasil Perhitungan

Bilangan *froude* bertujuan untuk menetapkan serta mengetahui berbagai macam aliran yang terjadi dalam saluran pada saat sistem pengaliran. Melalui bilangan *froude* ini kita bisa mengklarifikasi karakteristik aliran, apakah superkritis atau subkritis. Berdasarkan grafik pada gambar 21 dapat dilihat bahwa Fr_0 untuk kolam tipe USBR II, III, IV mempunyai rata-rata yang sama adalah $Fr < 1,00$ yaitu aliran subkritis, aliran yang kecepatannya kecil sehingga tidak terjadi adanya loncatan.

Grafik pada gambar 22 akan timbul situasi yang dimana Fr_1 terjadi awal loncatan aliran, yang dimana loncatan aliran memiliki nilai yang tinggi dimana $Fr > 1,00$ yaitu merupakan aliran superkritis. Apabila $2,5 < Fr \leq 4,5$ maka loncatan air tidak terbentuk dan loncatan menimbulkan gelombang sampai jarak yang jauh di saluran. Maka dapat terlihat bahwa hasil USBR tipe II memiliki nilai yang paling tinggi dan akan menimbulkan situasi yang sulit, diperoleh semburan berisolasi mengikuti dasar loncatan bergerak ke permukaan, untuk menanganinya yaitu dengan cara mengupayakan supaya kolam olak pada bilangan *froude* ini bisa mengakibatkan olakan (turbulensi) yang besar dengan balok halangnya maupun menambahkan intensitas pusran dengan pemasangan blok depan kolam.

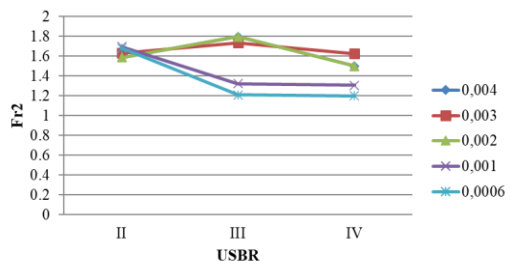
Untuk hasil USBR tipe III memiliki nilai 2,292 untuk bilangan *Froude* nya. Bila $1,7 < Fr \leq 2,5$ membentuk deretan gulungan gelombang pada permukaan loncatan, tetapi permukaan di hilir tetap halus, maka kolam olakan dibutuhkan untuk meredam energi

secara efisien. Kolam olak dengan ambang ujung mampu bekerja dengan baik.



Gambar 22 Grafik Bilangan Fr_1
 Sumber: hasil Perhitungan

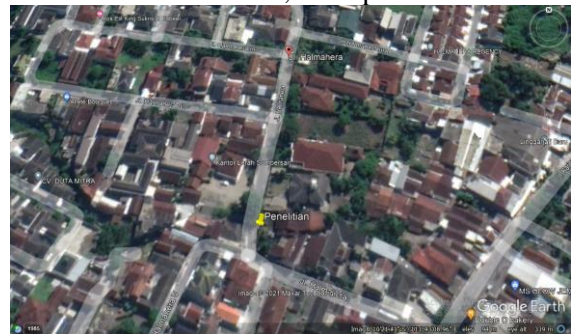
Untuk gambar 23 dapat dilihat Fr_2 yang terjadi awal loncatan aliran memiliki nilai yang tinggi dimana $Fr > 1,00$ yaitu merupakan aliran superkritis. Untuk bilangan *froude* ($Fr = 1 - 1,7$) terjadi gelombang pada permukaan air, serta loncatan yang terjadi dinamakan loncatan bergelombang.



Gambar 23 Grafik Bilangan Fr_2
 Sumber: hasil Perhitungan

N. Hasil perhitungan di lapangan

Penelitian dilakukan di jalan Halmahera, Kecamatan Summersari, Kabupaten Jember.



Gambar 24 lokasi penelitian
 Sumber: Google earth

Sebelum melakukan penelitian di lapangan, dilakukan pembuatan model uji fisik bendung tipe USBR terlebih dahulu disajikan pada gambar 2.



Gambar 24 Pembuatan bendung dan kolam olak
 Sumber: Dokumentasi Pribadi

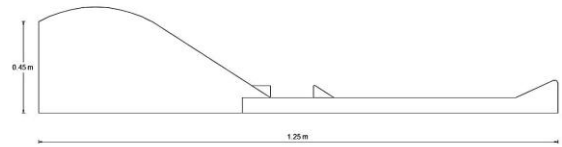
Setelah proses pembuatan mercu dan kolam olak selesai dilanjutkan pengukuran di lapangan dapat disajikan pada gambar 25.



Gambar 25 Pengukuran bendung
 Sumber: Dokumentasi Pribadi

Di bab sebelumnya dijelaskan untuk mendapatkan data lapangan dilakukan dengan cara metode ukur. Metode ukur yang didapatkan yaitu antara lain:

- Lebar bendung (B) = 0,835 m
- Tinggi Saluran = 0,86 m
- Tinggi muka air = 0,35
- Debit air (Q) = 0,124 m³/detik
- Kecepatan (V) = 0,425 m/detik



Gambar 26 hasil perencanaan kolam olak tipe USBR III
 Sumber: Gambar mercu autocad 2007

Hasil dari penelitian lapangan dihasilkan panjang loncatan 0,95 m dengan kecepatan di hulu bendung (V_0) = 0,27 didapatkan kecepatan loncatan (V_1) = 2,39. Dari hasil pengamatan dapat diketahui nilai $Fr_0 = 0,35$ dimana bilangan Froude (Fr) < 1,00 adalah aliran subkritis, sedangkan $Fr_1 = 3,05$ dengan nilai $Fr > 1,00$ adalah superkritis.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Pengaruh V (kecepatan aliran) dimana untuk hasilnya V_0 relatif sama dikarenakan menggunakan tipe mercu ogee, hasil V_1 memiliki nilai tidak jauh berbeda disebabkan kemiringan yang sama yang membuat berbeda yaitu dari blok-blok penghalang, dan untuk hasil V_2 yang memiliki nilai tinggi adalah USBR III nilai 1,789 m/detik dengan debit (Q) 0,004 m³/detik.
2. Variasi debit pada panjang loncat (Lj) dan tinggi loncat air disimpulkan bahwa semakin bertambahnya debit aliran, maka panjang loncat air semakin tinggi. Nilai rerata kedalaman air di awal loncat air (Y_1) yang memiliki nilai yang besar yaitu USBR tipe III = 0,0212 m dan nilai kedalaman di ambang ujung (Y_2) yaitu tipe III = 0,0654 m. Disimpulkan kolam olak USBR tipe III memiliki rerata tinggi loncatan dan mampu menimbulkan olakan (turbulensi).
3. Karakteristik aliran yang terjadi pada Fr_1 adalah aliran subkritis dikarenakan froude

nya dibawah nilai 1,00. Nilai pada Fr_1 dan Fr_2 di dapatkan diatas nilai 1,00 yaitu superkritis untuk hasil di lapangan tidak jauh berbeda dengan yang ada di laboratorium, bisa disimpulkan untuk tipe kolam olak USBR III sangat efisien digunakan untuk perencanaan di lapangan dapat dikondisikan dan disesuaikan dengan debit yang ada di lapangan.

B. Saran

Berdasarkan Tugas Akhir “Kajian Model Fisik Perbandingan Perilaku Aliran Pada Bendung Kolam Olak Tipe USBR II,III,IV” untuk pengujian berikutnya disarankan untuk dapat mencapai berbagai kemungkinan yang terjadi yaitu :

1. beberapa benda uji dan debit nya diperbanyak supaya lebih efektif dan terlihat perbedaan hasil perhitungan.
2. Untuk *Flume* usahakan dapat dimiringkan, supaya loncatan hidrolik yang terjadi akan terlihat dengan jelas.

DAFTAR PUSTKA

Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia. (2017). *Modul 13 Analisa stabilitas bendungan : Perhitungan stabilitas lereng*. Jakarta: Pusdiklat SDA dan Konstruksi.

Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Departemen Pekerjaan Umum. (2007). *Pembangunan Bendungan Urugan Pada Pondasi Tanah Lunak*. Jakarta: Direktorat Jendral Sumber Daya Air.

Fatmawati, L. E. (2019). Rekayasa dan Manajemen Konstruksi. *Analisis Stabilitas Bendung Embung Made, Desa Made, Kecamatan Kudu, Kabupaten Jombang*, 241-248.

Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Marga, P. B. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*. Jakarta.

Putra, D. N. (2018). Jurnal Online Institut

Teknologi Nasional. *Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Raknamo*, 95-104.

Rizal, N. S. (2017). *Aplikasi Perencanaan Irigasi dan Bangunan Air*. Jember: LPPM Unmuh Jember.

SDA, P. (2013). *KP - 02 Bagian Bangunan Utama*. Jakarta.

Soedibyo. (2003). *Teknik Bendungan*. Jakarta: PT. Pradinya Paramita.

Sosrodarsono, S. (2002). *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: PT. Pradinya Paramita.