

## **KAJIAN PENGARUH BENDUNG BERTANGGA TIPE KOLAM OLAK *ROLLER BUCKET* TERHADAP PANJANG LONCATAN AIR DAN PEREDAMAN ENERGI**

**Jaji Abdurrosyid<sup>1</sup>, Fauzan Muttaqin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417  
Email: ja199@ums.ac.id

### **Abstrak**

*Bendung bertangga merupakan modifikasi saluran peluncur dengan membuat beberapa tangga dari lokasi dekat puncak bendung sampai kaki di hilir bendung. Bendung bertangga dapat meredam energi yang terjadi karena bendung bertangga dapat mengurangi kelebihan energi yang terjadi pada saluran luncur. Akibat dari peninggian muka air oleh bendung akan mengakibatkan terjadinya perubahan jenis aliran dari superkritis ke subkritis yang dapat menyebabkan penggerusan saluran di bawah pelimpah. Untuk meredam gerusan, maka digunakan kolam olak jenis roller bucket. Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidraulika Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UMS. Penelitian ini menggunakan open flume berukuran 30x60x1000 cm dengan kemiringan dasar saluran 0,0058. Menggunakan pelimpah ogee pada bendung bertangga tiga tingkat, dua tingkat, satu tingkat dan menggunakan kolam olak tipe roller bucket. dilakukan pada lima variasi debit air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bendung bertangga tiga tingkat dengan kolam olak roller bucket adalah yang paling efektif meredam energi aliran. Hal ini karena bendung bertangga tiga tingkat dapat meredam turbulensi aliran dihilir, dan panjang loncatan.*

***Kata kunci:** bendung bertangga, pelimpah ogee, kolam olak roller bucket, panjang loncatan air, peredaman energi*

### **Pendahuluan**

Bendung bertangga merupakan modifikasi saluran peluncur dengan membuat beberapa tangga dari lokasi dekat puncak bendung sampai kaki di hilir bendung. Tujuan utama dari bendung bertangga adalah meningkatkan peredaman energi.

Peninggian muka air yang disebabkan oleh pembendungan mengakibatkan adanya aliran deras (*superkritis*) di bagian hilir bendung dan akan menimbulkan terjadinya loncatan air (*hydraulic jump*). Peristiwa loncatan air terjadi di kolam olak (*stilling basin*). Efek dari loncatan air ini adalah masih tetap menggerus dasar sungai dihilir bendung. Untuk meredam gerusan di hilir kolam olak, maka digunakan kolam olak jenis roller bucket.

### **Tinjauan Pustaka**

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan berkaitan dengan peredaman energi, loncatan air maupun turbulensi aliran pada kolam olakan adalah sebagai berikut ini.

Jaji dan Pembra (2013) melakukan penelitian pengaruh variasi kemiringan tubuh hilir bendung dan penempatan *baffle blocks* pada kolam olak tipe roller bucket terhadap loncatan air dan peredaman energi. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa *baffle blocks* yang diletakkan pada tengah radius lengkung adalah yang paling efektif dalam meredam panjang pusaran maupun turbulensi aliran.

Jaji dan Ardian (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi kemiringan tubuh hilir *spillway* dan penempatan *baffle blocks* pada kolam olak tipe trajectory bucket terhadap loncatan hidrolis dan

peredaman energi. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa posisi *baffle blocks* yang paling efektif dalam meredam turbulensi aliran dihilir pusaran adalah yang diletakkan pada awal radius lengkung.

## Landasan Teori

### Aliran di Bendung

Aliran saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas (*free surface*) yang dipengaruhi oleh tekanan udara atau disebut juga tekanan atmosfer kecuali oleh tekanan hidrolis. (Chow, 1985).

### Bilangan Froude

Akibat gaya tarik bumi terhadap keadaan aliran dinyatakan dengan perbandingan gaya inersia dengan gaya tarik bumi. Perbandingan ini ditetapkan sebagai bilangan *Froude* (Chow, 1985)

$$Fr = \frac{v}{(\sqrt{g \cdot h})} \quad (1)$$

dengan:

Fr: bilangan *froude*

v : kecepatan aliran rata-rata (m/dt)

g : percepatan gaya grafitasi bumi (m/dt<sup>2</sup>)

h : kedalaman aliran (m)

### Bilangan Reynolds

*Reynolds* dalam percobaannya menyimpulkan bahwa perubahan aliran laminar ke aliran turbulen terjadi untuk suatu harga disebut dengan bilangan *Reynolds* (Re). Angka ini menyatakan rasio perbandingan antara gaya inersia dan gaya kekentalan.

$$Re = \frac{v \cdot R}{\nu} \quad (2)$$

dengan:

Re: bilangan *reynolds*

v : kecepatan aliran (m/dt)

R : jari-jari hidrolis (m)

$\nu$  : kekentalan kinematik (m<sup>2</sup>/dt)

### Debit

Debit aliran sebagai fungsi dari kecepatan dan luas penampang basah, dinyatakan dalam volume per satuan waktu atau zat cair yang mengalir melewati tampang lintang aliran tiap satu satuan waktu. Bila tampang lintang saluran tegak lurus dengan aliran adalah A (m<sup>2</sup>), maka debit aliran dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$Q = A \cdot V \quad (3)$$

dengan:

Q = debitaliram (cm<sup>3</sup>/dt)

A = luas penampangaliran (cm<sup>2</sup>)

V = kecepatan aliran (cm/dt)

### Energi Spesifik

Energi spesifik pada suatu penampang saluran dinyatakan sebagai energi tiap satuan berat pada setiap penampang saluran diukur terhadap dasar saluran (Anggraini, 1997).

$$E_s = d \cdot \cos\theta + \alpha \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

dengan :

$E_s$  : energi spesifik (m)

d : kedalaman (m)

g : gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

v : kecepatanrata-rata aliran(m/dt)

$\theta$  : Kemiringan (°)

**Bendung Bertangga**

Bendung bertangga merupakan modifikasi saluran peluncur dengan membuat beberapa tangga dari lokasi dekat puncak bendung sampai kaki dihilir bendung. Tujuan utama dari bendung bertangga adalah meningkatkan peredaman energi.

**Mercu Pelimpah**

Mercu *ogee* berbentuk tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam aerasi. Oleh karena itu mercu ini tidak akan memberikan tekanan atmosfer pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana.

**Kolam Olak**

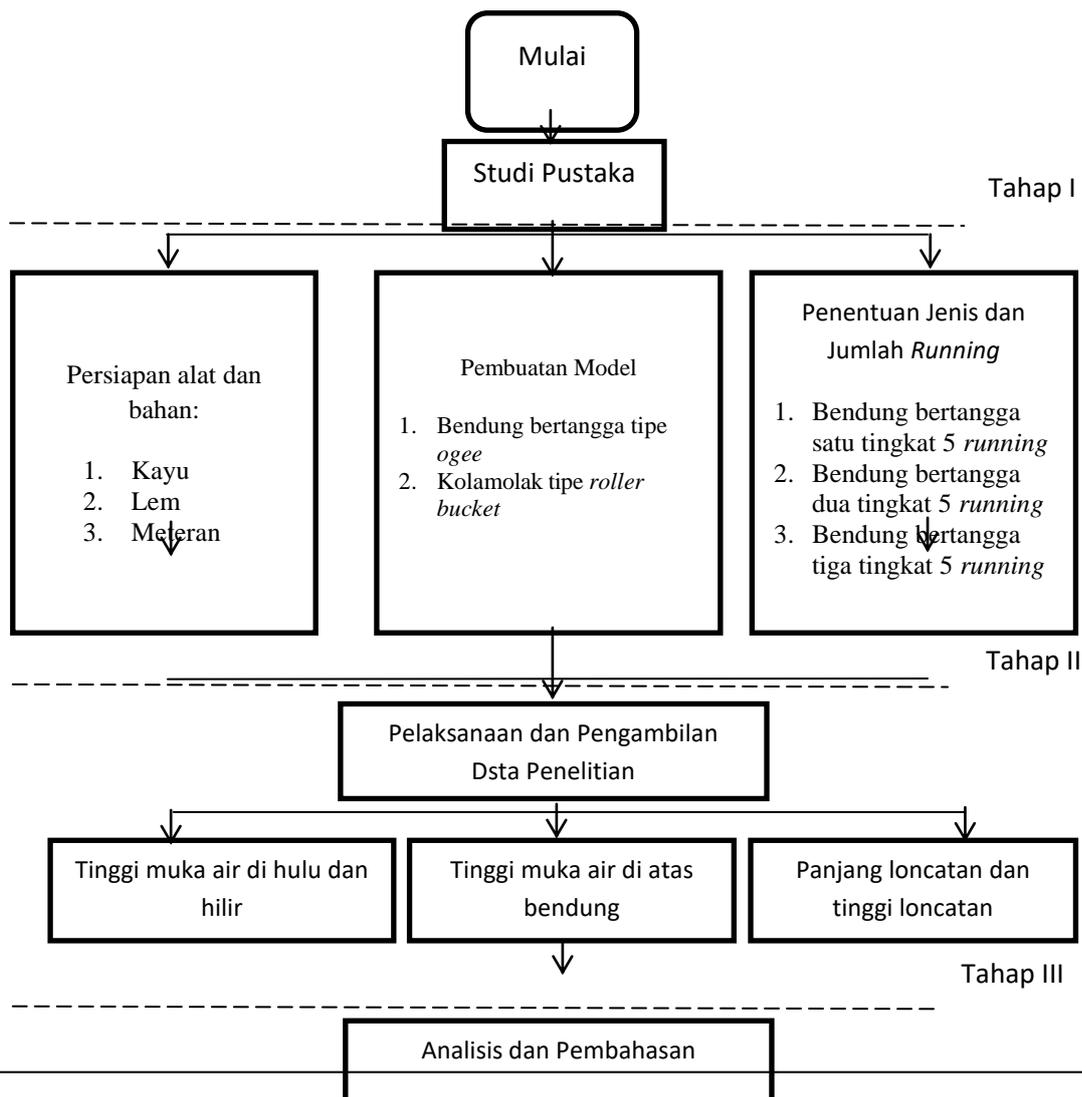
Kolam olak *roller bucket* dibuat bilamana material hanyutan membawa batuan sebesar kelapa yang akan menghancurkan lantai olakan. Ruang lantai dibuat melingkar sampai bagian depan *cut off* (Perencanaan Bendung Tetap, 2015).

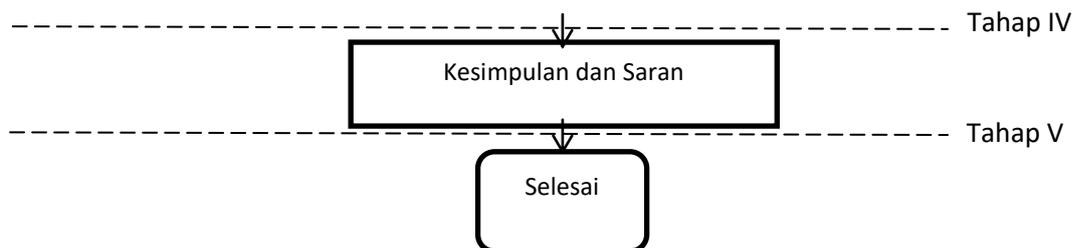
**Loncatan Air**

Apabila tipe aliran di saluran berubah dari aliran *superkritis* menjadi *subkritis* maka akan terjadi loncat air. Keadaan ini terjadi misalnya pada kaki bangunan pelimpah dengan aliran dibagian hulu adalah *superkritis* menjadi *subkritis*. Kedua tipe aliran tersebut terdapat daerah transisi, yaitu loncat air. Pada loncat air, kecepatan aliran berkurang secara mendadak dan kedalaman air bertambah dengan cepat. (Bambang Triadjmojo, 2011)

**METODE**

**Bagan Alur Pelaksanaan Penelitian**





Gambar1 Bagan Alur Penelitian

**Perencanaan Model**

**Perencanaan Model Pelimpah**

Bangunan pelimpah direncan akan dengan debit(Q) yang maksimum agar mendapat variasi debit aliran yang beragam. Berikut ini perhitungan perencanaan bangunan pelimpah dengan data-data sebagai berikut :

- a) Debit maksimum (Q) = 0,005 m<sup>3</sup>/dt
- b) Lebar saluran (b) = 0,3 m
- c) Tinggi pelimpah (p) = 0,2 m
- d) Dicoba h<sub>d</sub> = 0,0385 m
- e) Kecepatan awal (V<sub>o</sub>) =

$$V_o = \frac{Q}{(p + h_d).b} \tag{5}$$

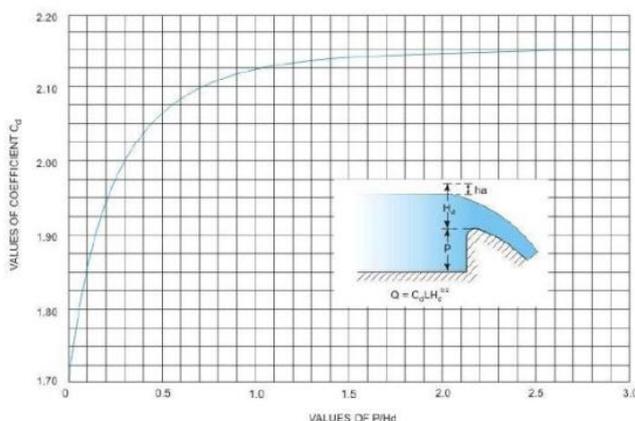
$$V_o = \frac{0,005}{(0,2 + 0,0385).0,3} = 0,0699 \text{ m/dt}$$

- f) Tinggi tekanan total (h<sub>e</sub>)

$$h_e = h_d + \frac{V_o^2}{2g} \tag{6}$$

$$h_e = 0,0385 + \frac{0,0699^2}{2.9,81} = 0,0387 \text{ m}$$

- g) Menghitung koefisien C<sub>d</sub> :



Gambar2. Grafik Koefisien Peluapan Mercu Ogee Hubungan antara p/h<sub>d</sub> (Hydraulic Structures for Flow Diversion and Storage, Version 2CE IIT– Kharangpur)

Dari gambar 2. didapat  $p/h_d = 5,19$  dan dari ekstrapolasi dengan persamaanya  $= 0,0125x + 2,1125$  didapat nilai  $C_d = 2,18$  maka kontrol debit (Q) adalah :

$$Q = C_d \cdot b \cdot h_c^{3/2} \tag{7}$$

$$Q = 2,18 \cdot 0,3 \cdot 0,0387^{3/2}$$

$$Q = 0,005 \text{ m}^3/\text{dt}$$

**2.2.2 Perencanaan Kolam Olak**

- a) Debit maksimum (Q) = 0,005 m<sup>3</sup>/dt
- b) Lebar saluran (b) = 0,3 m
- c) Tinggi pelimpah (p) = 0,2 m
- d) Debit per satuan panjang bentang = 0,0167 m<sup>3</sup>/dt/m
- e) Tinggi air kritis (h<sub>c</sub>) =

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \tag{8}$$

$$h_e = \sqrt[3]{\frac{0,0167^2}{9,81}}$$

$$= 0,0305 \text{ m}$$

- f) Radius Lengkung (R<sub>min</sub>)

$$\frac{R_{min}}{h_c} = 1,55 ; \text{ untuk } \frac{h_d}{h_c} \leq 2$$

$$\frac{h_d}{h_c} = 1,2631 ; 1,2631 \leq 2$$

$$R_{min} = 1,55 \times 0,0305 = 0,0472 \approx 0,05 \text{ m}$$

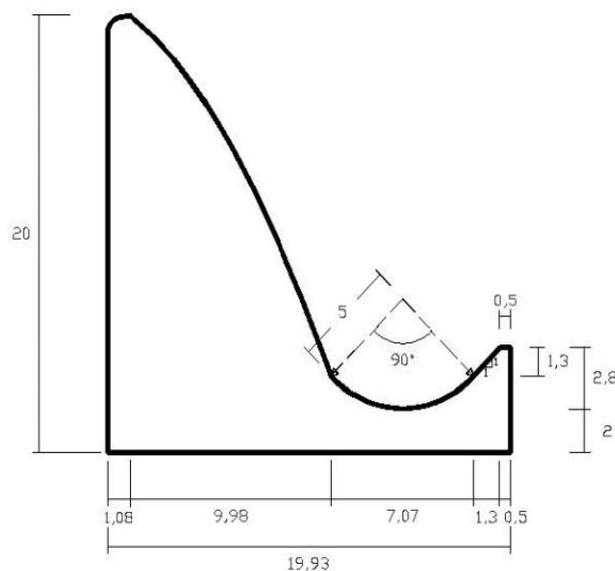
- g) Kedalaman Air Minimum (T<sub>min</sub>)

$$\frac{T_{min}}{h_c} = 1,88 \left( \frac{h_d}{h_c} \right)^{0,215}$$

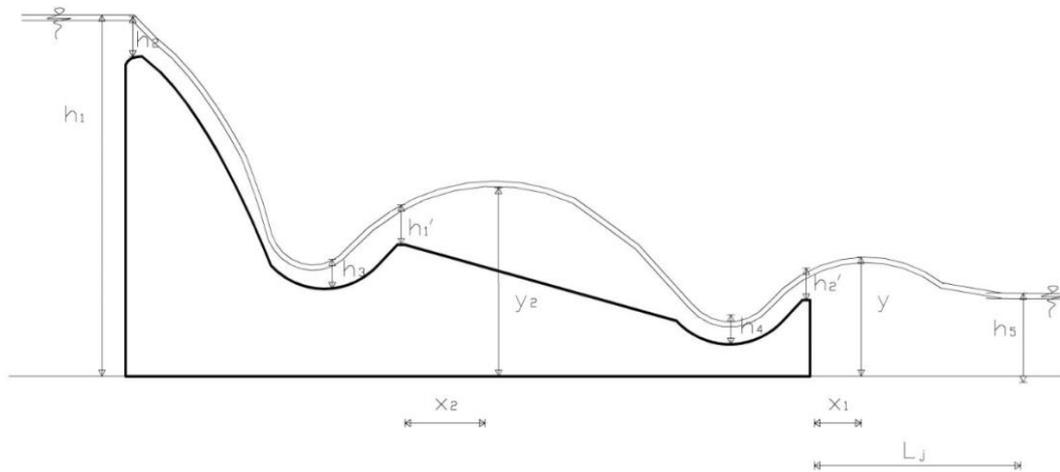
$$T_{min} = 1,88 \left( \frac{0,0385}{0,0305} \right)^{0,215} \cdot 0,0305$$

$$= 0,0603 \text{ m}$$

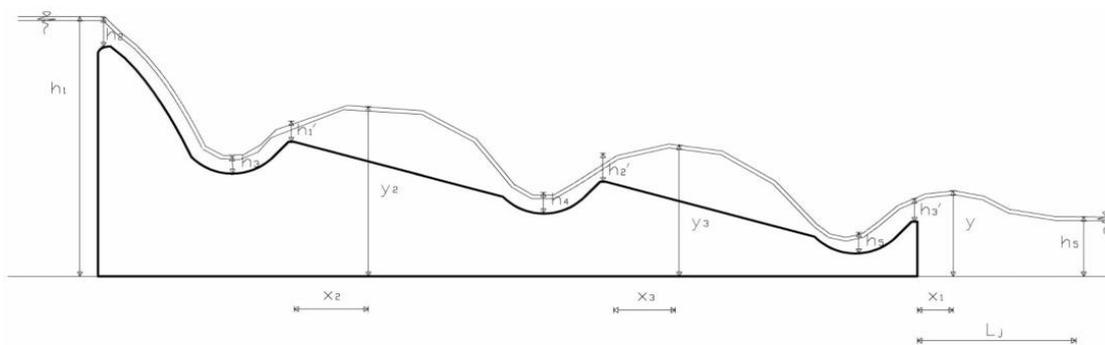
- h) Gambar hasil perencanaan model



Gambar 3. Bendung dengan kolam olak roller bucket dengan satu tingkat (normal)



Gambar 4. Bendung bertangga dua tingkat dengan kolam olak roller bucket



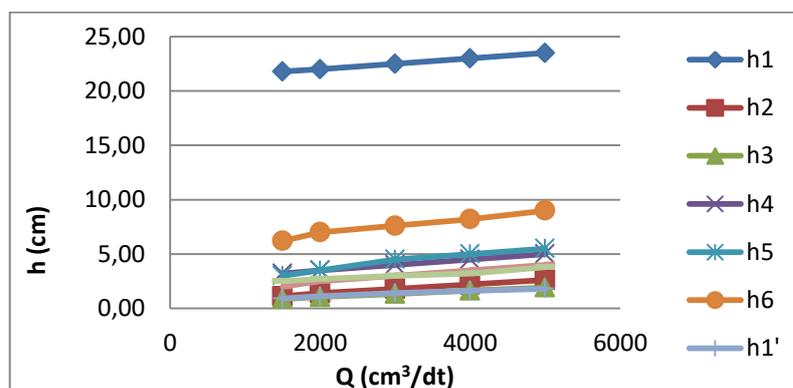
Gambar 5. Bendung bertangga tiga tingkat dengan kolam olak roller bucket

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan mengalirkan air pada open flume melewati pelimpah ogee dengan lima variasi debit ( $5000 \text{ cm}^3/\text{dt}$ ,  $4000 \text{ cm}^3/\text{dt}$ ,  $3000 \text{ cm}^3/\text{dt}$ ,  $2000 \text{ cm}^3/\text{dt}$ ,  $1500 \text{ cm}^3/\text{dt}$ ) menggunakan pompa air, bendung bertangga yg digunakan ada tiga variasi (satu tingkat, dua tingkat, tiga tingkat) dilakukan 15 kali running. Hasil analisis meliputi:

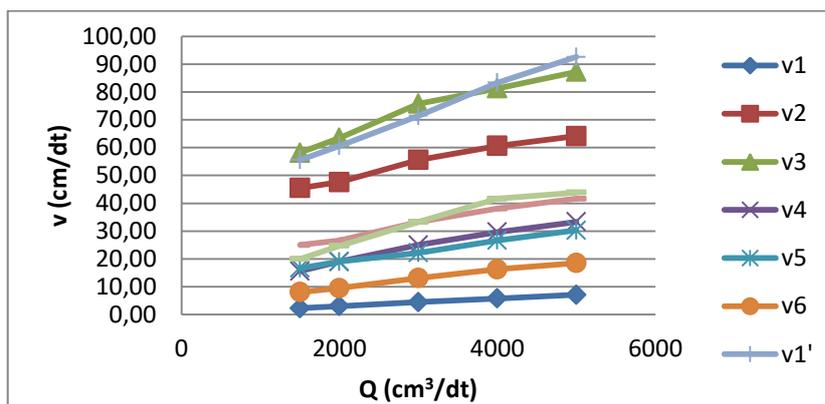
#### Analisis Kecepatan Aliran dengan Variasi Debit

Kedalaman air di hulu bendung merupakan kedalaman yang paling besar, karena adanya efek pembendungan. Aliran di hilir terjadi perubahan air dari *superkritik* ke *subkritik* sehingga menyebabkan terjadinya loncatan air. Kedalaman aliran di hilir adalah kedalaman air setelah terjadi pusanan air. Pada kondisi ini aliran air di hulu bersifat subkritik, selanjutnya aliran air bersifat superkritik setelah melewati bendung atau pada hilir bendung terjadi perubahan aliran air dari *superkritik* ke *subkritik*. Gambar 6 memperlihatkan bahwa kedalaman aliran setelah peristiwa pusanan air semakin meningkat ketika debit yang lewat juga naik.



Gambar 6. Hubungan antara Variasi Debit  $Q$  ( $\text{cm}^3/\text{dt}$ ) dengan Kedalaman Aliran  $h$  (cm) pada Pengaliran Seri Bendung Tiga Tingkat (C.U)

Kecepatan di hulu bendung merupakan kecepatan yang paling rendah, karena terjadi pembendungan disusul kecepatan setelah pusaran air dan kecepatan sebelum pusaran air merupakan kecepatan paling tinggi. Penurunan kecepatan terjadi pada kolam olak dengan adanya peristiwa pusaran air (loncatair), yang akan mengubah jenis aliran dari *superkritik* menjadi *subkritik*. Peristiwa pusaran air juga bersifat meredam energi aliran, sehingga energi setelah pusaran air relatif lebih rendah. Kecepatan air di hulu bendung, kecepatan air setelah pusaran dan kecepatan di puncak bendung disajikan pada gambar 7.



Gambar 7. Hubungan Antara Variasi Debit  $Q$  ( $\text{cm}^3/\text{dt}$ ) dengan Kecepatan Aliran  $v$  (cm/dt) pada Pengaliran Seri Bendung Tiga Tingkat (C.U)

Pada gambar 7. Ketika debit aliran semakin besar maka kecepatan di hulu dan dipuncak bendung juga semakin besar pula, begitu pula dengan kecepatan di hilir bendung. Rincian detail kecepatan aliran dan kedalaman muka air di tubuh bendung dilakukan dengan menerapkan persamaan konservasi momentum yang dikalibrasikan dengan data pengukuran kedalaman di laboratorium.

Sesuai hukum Newton II, yang menyatakan bahwa "jumlah gaya yang bekerja disuatu volume kontrol sebanding dengan perubahan momentum yang terjadi", maka konservasi momentum dapat dituliskan berikut ini :

$$F_1 - F_2 + W \cdot \sin \theta - \lambda \cdot A = \rho \cdot Q (v_2 \cos \theta_2 - v_1 \cos \theta_1) \quad (9)$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot d_1^2 \cdot \gamma_w \cdot B \cdot \cos \theta_1$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot d_2^2 \cdot \gamma_w \cdot B \cdot \cos \theta_2$$

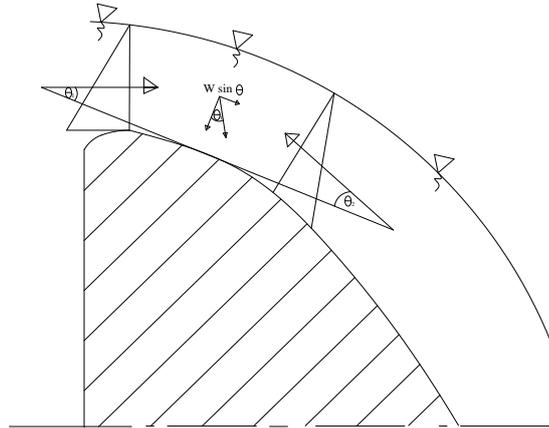
$$W \cdot \sin \theta = \left( \frac{d_1 + d_2}{2} \right) \cdot L \cdot B \cdot \sin \theta$$

$$\lambda \cdot A = \rho \cdot g \left( \frac{R_1 + R_2}{2} \right) \cdot I_o \cdot (B \cdot d)$$

Persamaan tersebut di atas bersifat eksplisit dan acuan awal untuk memulai perhitungan, data pertama yang diketahui  $h_d$  (kedalaman diatas bendung). Selanjutnya cara perhitungan dilanjutkan sebagai berikut ini:

1. Menentukan koordinat dari kemiringan pelimpah
2. Mencari tangen sudut dari masing-masing titik koordinat yang telah ditentukan.
3. Menentukan sudut awal ( $\Theta_1$ ), sudut tengah ( $\Theta_i$ ), dan sudut akhir ( $\Theta_2$ ) dari setiap titik koordinat.
4. Menentukan panjang busur punggung bendung dengan analisa matematis.

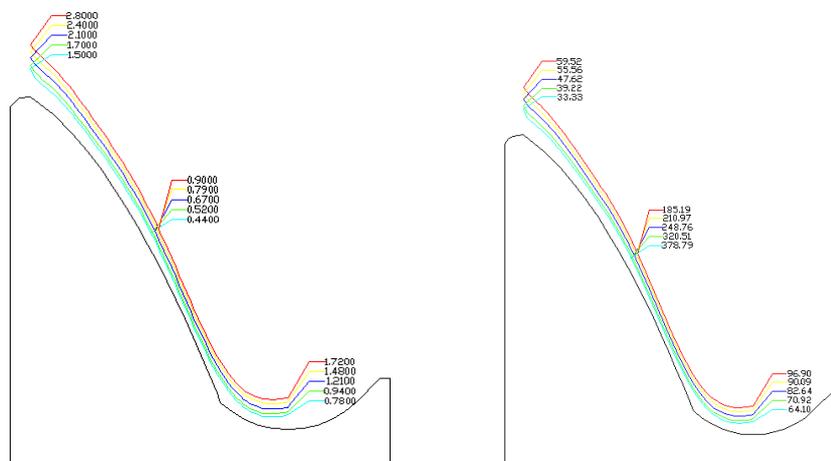
5. Menganalisa nilai fungsi dari rumusan momentum untuk mendapatkan tinggi aliran ( $d_2$  trial) yang meluncur pada kemiringan pelimpah. Penentuan  $d_2$  trial dengan fungsi goal seek di MS. Excel 2013.
6. Mengulangi langkah 1-5 dengan penggal saluran di punggung pelimpah selanjutnya.
7. Setelah  $d_2$  trial didapat selanjutnya digambar aliran air yang melewati kemiringan tubuh bendung. Kemudian dianalisis mengenai konservasi momentumnya.



Gambar 8. Tekanan pada Puncak Mercu Bendung

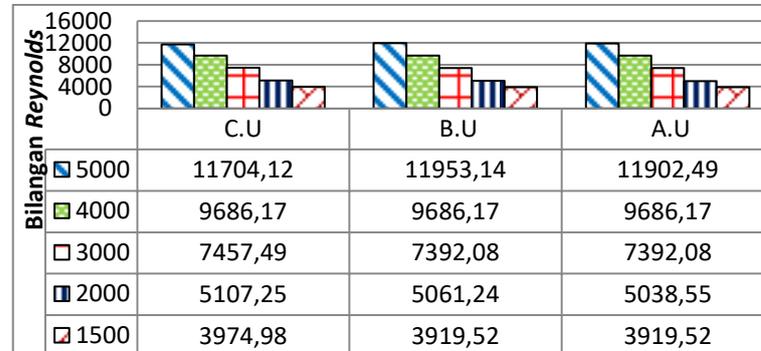
Profil muka air yang paling atas ke bawah menggambarkan profil muka air yang melintasi bendung dengan debit  $5000 \text{ cm}^3/\text{dt}$  dan berturut-turut profil muka air di bawahnya dengan debit  $4000 \text{ cm}^3/\text{dt}$ ,  $3000 \text{ cm}^3/\text{dt}$ ,  $2000 \text{ cm}^3/\text{dt}$ ,  $1500 \text{ cm}^3/\text{dt}$ . Sedangkan kedalaman dan kecepatan aliran saat melintasi di titik A (puncak bendung), B (sebelum permulaan lengkungan), dan C (puncak lembah kolam olak) disajikan pada gambar 9 berikut ini.

Gambar 10. menunjukkan hubungan antara variasi debit dengan bilangan *reynold*. Aliran pada saluran terbuka berdasarkan bilangan *reynold* ada tiga yaitu laminar yang mempunyai bilangan *reynold* ( $Re$ )  $< 500$ , turbulen  $Re > 1000$  dan diantara  $500 - 1000$  adalah aliran transisi/peralihan. Dari gambar 8 dapat diketahui bahwa semua aliran yang terjadi pada semua perlakuan adalah aliran turbulen, karena memiliki bilangan *reynold* ( $Re$ )  $> 1000$ . Dari gambar 8 rerata bilangan *reynold* untuk seri C.U = 7586,00; seri B.U = 7602,43; seri A.U = 7587,76. Dengan demikian seri C.U adalah yang paling efektif meredam turbulensi di hilir pusaran.



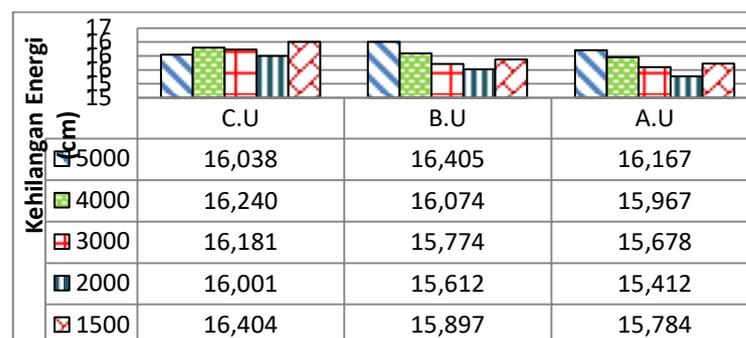
Gambar 9. Profil Muka Air yang Melintasi Tubuh Bendung Seri (A.U) dengan Data Kedalaman Aliran (cm) dan Kecepatan Aliran (cm/dt)

**Analisis bilangan Reynolds dengan Variasi Debit**

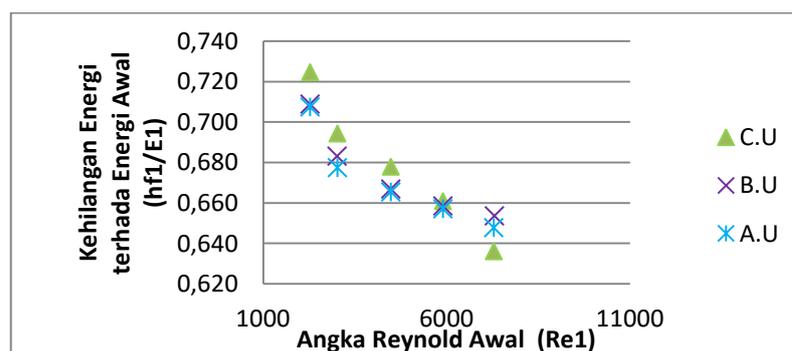


Gambar 10. Hubungan Variasi Debit ( $\text{cm}^3/\text{dt}$ ) dengan Bilangan Reynold Hilir Pusaran

**Analisis Kehilangan Energi pada Variasi Debit**



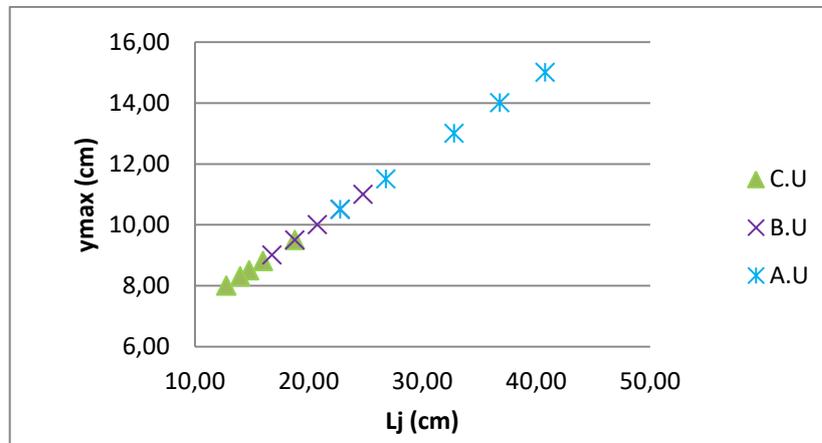
Gambar 11. Hubungan Variasi Debit ( $\text{cm}^3/\text{dt}$ ) dengan Kehilangan Energi (cm)



Gambar12. Hubungan Perbandingan Kehilangan Energi terhadap Energi Awal ( $h_f/E_1$ ) dengan Angka Reynolds Awal ( $Re_1$ )

Gambar diatas (gambar 9 dan gambar 10) menunjukkan bahwa hasil presentase rerata  $h_f/E_1$  untuk seri C.U = 0,679; seri B.U = 0,674; seri A.U = 0,671. Dengan demikian, maka seri C.U adalah yang paling efektif untuk meredam energi aliran yang berlaku untuk semua debit. Posisi bendung bertingkat yang efektif mereduksi energi aliran berturut-turut seri C.U, B.U, A.U.

**Analisis Panjang Loncat Air dengan Tinggi Loncatan**

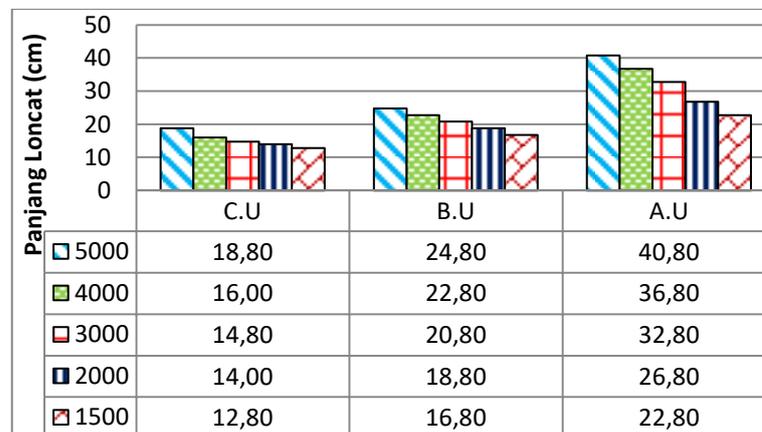


Gambar 13. Hubungan Panjang Loncatan (cm) dengan Tinggi Loncatan (cm)

Pada gambar 13 hubungan perbandingan panjang loncatan ( $L_j$ ) dengan tinggi loncatan ( $Y_{max}$ ) disimpulkan bahwa semakin besar debit aliran yang melewati tubuh *spillway* maka tinggi loncatan dan panjang loncatan menjadi semakin besar. Ini berlaku untuk semua bendung bertingkat. Gambar tersebut juga menunjukkan bendung bertangga yang paling efektif untuk mereduksi tinggi loncat air adalah seri C.U yang mempunyai rerata tinggi loncatan adalah 8,62 cm. Posisi bendung bertangga yang efektif mereduksi tinggi loncat air berturut-turut seri C.U, B.U, A.U

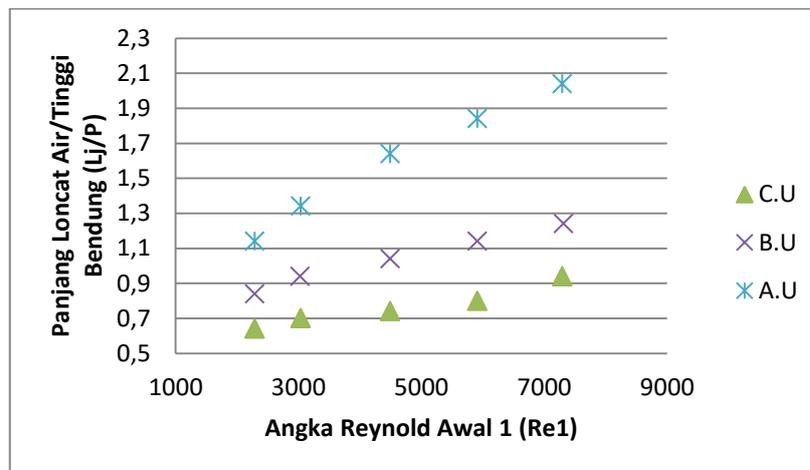
**Analisis Panjang Loncat Air dengan Variasi Debit**

Panjang loncat air ( $L_j$ ) diukur dari ujung kolam olakan ke titik terjauh dari olakan. Hubungan antara debit dengan panjang loncat air dapat dilihat pada (Gambar 14.),



Gambar 14. Hubungan Variasi Debit ( $\text{cm}^3/\text{dt}$ ) dengan Panjang Loncat Air (cm)

Pada gambar 14 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya debit aliran, maka panjang loncat air semakin besar. Gambar tersebut juga menunjukkan bendung bertingkat yang paling efektif untuk mereduksi panjang loncat air. Bendung bertangga yang terbaik untuk mereduksi panjang loncat air adalah seri C.U karena semakin pendek loncatan air maka peredaman energi semakin baik.

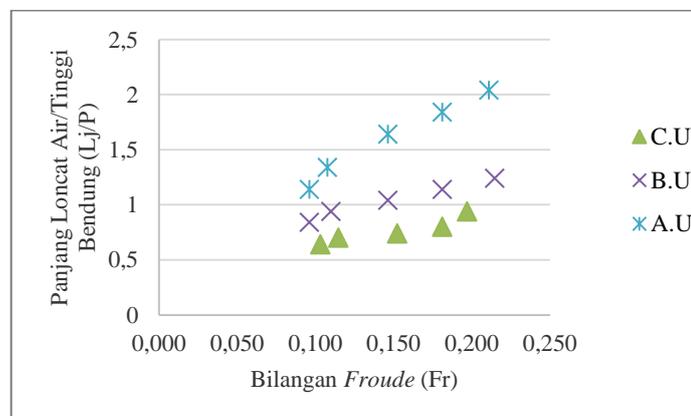


Gambar 13. Hubungan Perbandingan Panjang Loncat Air terhadap Tinggi Bendung ( $L_j/P$ ) dengan Angka Reynold Awal ( $Re_1$ )

Pada gambar 13 ketikanilai panjang loncat air terhadap tinggi bendung ( $L_j/P$ ) semakin besar maka angka reynold awal ( $Re_1$ ) juga semakin besar pula. Hal ini berlaku pada setiap debit.

#### Hubungan Panjang Loncatan dengan Bilangan Froude

Menurut Van Rijn (1990) bahwa panjang loncatan air dipengaruhi oleh bilangan Froude setelah loncatan. Maka dari itu dalam penelitian ini diperlihatkan bagaimana hubungan antara panjang loncatan dengan bilangan froude. Dapat dilihat dalam lampiran dan diperjelas pada gambar 14.



Gambar 14. Hubungan Nilai Panjang Loncat Air terhadap Tinggi Bendung ( $L_j/P$ ) dengan Bilangan Froude ( $Fr_2$ )

Berdasarkan gambar 14 menunjukkan bahwa nilai panjang loncat air terhadap tinggi bendung ( $l_j/p$ ) berbanding lurus dengan bilangan froude ( $fr_2$ ). Debit semakin besar maka nilai panjang loncat air terhadap tinggi bendung ( $l_j/p$ ) dan bilangan froude ( $fr_2$ ) semakin besar. Pada bilangan froude di hulu ( $Fr_1$ ) nilai rerata  $Fr_1 < 1$  maka dapat disimpulkan bahwa aliran di hulu adalah subkritik, dan bilangan froude di hilir juga nilai rerata  $Fr_2 < 1$  maka dapat disimpulkan bahwa aliran di hilir adalah subkritik.

### Kesimpulan

Berdasarkan data penelitian serta hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Urutan jumlah tangga bendung bertangga dengan kolamolak *rollerbucket* yang paling efektif meredam energy aliran berturut-turut adalah bendung seri C.U (0,679), seri B.U (0,674), dan A.U (0,671).
2. Urutan jumlah tangga bendung bertangga dengan kolamolak *rollerbucket* yang paling efektif meredam turbulensi aliran dihilir pusran berturut-turut adalah bendung seri C.U (7586,00), A.U (7587,76), dan B.U (7602,43).
3. Urutan jumlah tangga bendung bertangga dengan kolam olak *rollerbucket* yang memiliki nilai panjang loncat air dari paling pendek adalah bendung seri C.U, B.U, dan A.U. Sedangkan jumlah tangga bendung bertangga dengan kolam olak *rollerbucket* dengan tinggi loncat air dari paling pendek adalah bendung seri C.U, B.U, dan A.U.
4. Bilangan *froude* pada percobaan ini berbanding lurus dengan panjang loncatan. Debit semakin besar maka bilangan *Froude* dan panjang loncatan semakin besar. Ini berlaku untuk semua bendung bertingkat. Pada bilangan *froude* di hulu ( $Fr_1$ ) nilai rerata  $Fr_1 < 1$  maka dapat disimpulkan bahwa aliran di hulu adalah *subkritik*, dan bilangan *froude* di hilir juga nilai rerata  $Fr_2 < 1$  maka dapat disimpulkan bahwa aliran di hilir adalah *subkritik*.

### Saran

Saran yang bisa diberikan dengan hasil penelitian ini adalah:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan penambahan variasi debit agak lebih teliti lagi dalam mengkaji.
2. Untuk penelitian selanjutnya bendung bertangga dengan kolam olak dapat dilakukan dengan variasi jari-jari kolam olak atau kemiringan pada tubuh hilir bendung.
3. Untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan variasi jumlah tangga.

### Daftar Pustaka

- Anonim (1986). Standar Perencanaan Irigasi. Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum
- Anonim (2014). *Module 4 Hydraulic Structures for Flow Diversion and Storage*.
- Budiarsyad, Gadang. 2018. Pengaruh Penempatan *Baffle Blocks* Tipe V Terhadap Reduksi Panjang Loncatan Air dan Energi Aliran pada Pengalir Bendung Tipe *Ogee*, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Chow, Ven Te. 1985. Hidraulika Saluran Terbuka. Jakarta: Erlangga  
<http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcoursecontents/IIT%20Kharagpur/Water%20Resource%20Engg/pdf/m4108.pdf>, IITM, Kharagpur, Diakses 7 Oktober 2018.
- Jaji Abdurrosyid dan Juned, P.A. (2013). Pengaruh Variasi Kemiringan Tubuh Hilir Bendung dan Penempatan *Baffle Blocks* pada Kolam Olak Tipe *Solid Roller Bucket* Terhadap Loncatan Hidrolis dan Peredaman Energi. Laporan Penelitian (tidak diterbitkan), Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Jaji dan Ardian (2013). Pengaruh variasi Kemiringan Tubuh Hilir *spillway* dan Penempatan *baffle blocks* pada Kolam Olak Tipe *trajectory bucket* terhadap Loncatan Hidrolis dan Peredaman Energi.
- Peterka, A.J. (1974). *Hdraulics Design Of Stilling Basin And Energy Disipaters*. Colorado: United States Department Of Interior, Bureau Of Reclamation, Denver.
- Prasetyo, Yogik Hardian. (2016). Pengaruh Variasi Jari-Jari Kolam Olak Tipe *Trajectory Bucket* terhadap Loncatan Hidrolis dan Peredaman Energi pada *Spillway* Tipe *Ogee*, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Triatmodjo, Bambang. (1995). Hidraulika II. Yogyakarta: Beta Offset