

# HUBUNGAN ANTARA DIMENSI KOLAM OLAK DAN EFEKTIFITAS PEREDAM ENERGI DI HILIR PINTU AIR

Yuliman Ziliwu

## *Abstrak*

*Loncat air di hilir sluice gate sering menimbulkan masalah yaitu terjadinya local scouring. Salah satu untuk mengatasi masalah tersebut adalah menambah kekasaran apron menggunakan endsill di hilir sluice gate. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hubungan antara dimensi kolam olak dan efektifitas peredam energi di hilir pintu air. Pelaksanaan penelitian ini dimulai dari kalibrasi debit aliran yang melalui standard tilting flume dan didapatkan nilai debit yaitu  $Q = 4830 \text{ cm}^3/\text{det}$  yang besarnya disesuaikan dengan kapasitas flume pada saat sluice gate di pasang dengan bukaan pintu terkecil agar tidak meluap. Dari hasil penelitian : 1. nilai frude number untuk model dengan panjang kolam olak yang sama adanya penambahan kedalaman kolam olak mengakibatkan LS semakin pendek; 2. Untuk suatu nilai Froude number yang sama, panjang loncat hidraulik yang terjadi semakin berkurang dengan adanya penambahan kedalaman kolam olak, penambahan tailwater depth dan penambahan tinggi endsill; 3. Penambahan kedalaman dan panjang kolam olak, penambahan tailwater depth dan penambahan tinggi endsill dapat memperbesar pengaruh peredaman energi; 4. Penambahan endsill pada ujung hilir kolam olak dapat mengurangi terjadinya osilasi yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada tanggul – tanggul dari tanah dan riprap.*

***Kata kunci:*** Loncat air, kolam olak, peredam nenergi

## **1. PENDAHULUAN**

Terjadinya loncat hidraulik di hilir *sluice gate* sering menimbulkan terjadinya *local scouring*. Berbagai cara untuk mengatasi masalah tersebut diantaranya adalah menambah kekasaran apron menggunakan *endsill* di hilir *sluice gate*, namun terkadang menimbulkan masalah lain, yaitu terjadinya *second jump*.

Langkah – langkah tambahan, seperti misalnya menurunkan dan memperpanjang tinggi *endsill* yang bertujuan menambah kekasaran apron diperlukan agar dapat menjamin perencanaan energi secara memadai.

Penelitian ini adalah untuk mendapatkan hubungan antara dimensi kolam olak dan efektifitas peredaman energi. Beberapa

peneliti telah melakukan penelitian tentang pengaruh letak *endsill* di hilir pintu air S.W.U. dan N. Rajaratnam (1995) menyelidiki tentang pengaruh letak *endsill* di hilir pintu air pada aliran *submerged*. Ranga Raju dan Visaradia (1979) menyelidiki tentang sifat – sifat debit yang terjadi pada pintu penguras dengan kondisi aliran bebas. Mossa M., Petrillo A. dan chanson H. (2002), melakukan penelitian tentang peredaman energi loncat hidraulik dalam kolam olak.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Ada 3 macam pola loncat hidraulik yang mempunyai kemungkinan terbentuk pada daerah hilir *sluice gate* (Chow, V. T., 1959), yaitu :

1. **Kasus 1**, apabila kedalam hilir (*tailwater depth*)  $y_3$  sama dengan kedalaman  $y_2$  (*sequent depth*) yakni lanjutan dari  $y_1$ . Nilai – nilai  $Fr_1$ ,  $y_1$  dan  $y_3$  ( $=y_2$ ) akan memenuhi persamaan 1 :

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right) \quad \dots(1)$$

2. **Kasus 2**, apabila kedalam hilir  $y_3 < y_2$ . Hal ini berarti kedalaman hilir pada kasus 1 berkurang. Akibatnya, loncat hidraulik akan mundur ke hilir ke suatu titik dimana persamaan 1 dipenuhi kembali.
3. **Kasus 3**, apabila kedalam hilir  $y_3 > y_2$ . Hal ini berarti kedalaman hilir pada kasus 1 bertambah besar. Akibatnya, loncatan di dorong ke arah hulu dan berubah menjadi loncatan terendam.

### Persamaan Momentum di Mulut *Sluice gate*

Mossa M., Petrillo A. dan Chanson H. (2002) menunjukkan bahwa :

$$\text{Pola aliran} = f \left\{ Fr_0, \frac{y_1}{y_0}, \frac{H}{y_0} \right\} \quad \dots(2)$$

Persamaan dasar aliran untuk penyelesaian analitis pada penelitian tersebut di atas diaplikasikan dalam penelitian ini.

Gambar 1. Pers. Momentum di mulut *sluice gate*

Persamaan momentum di mulut *sluice gate* (Gambar 1) adalah :

$$F_0 + F_h - F_1 = pQ (U_1 - U_0) \quad \dots(3)$$

Dengan :

$$F_0 = \frac{1}{2} \gamma \times y_0^2 B$$

$$F_h = \gamma H \left( y_0 + \frac{H}{2} \right) B$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \gamma \times y_1^2 B$$

...(4)

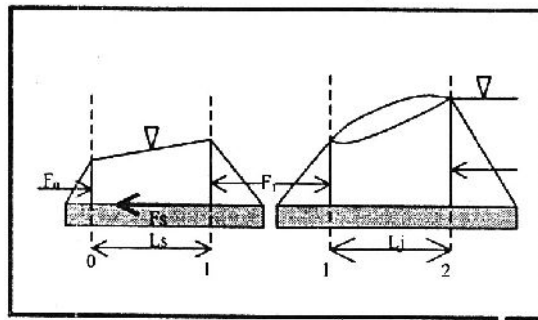
Substitusi persamaan (4) ke persamaan (3) dan dengan penjabaran seperlunya, didapatkan :

$$Fr_0^2 = \frac{\left[ \left( \frac{y_1}{y_0} \right)^2 - \left( \frac{H}{y_0} \right)^2 - \left( \frac{2H}{y_0} \right) - 1 \right]}{2 \left( 1 - \left( \frac{1}{y_1/y_0} \right) \right)}$$

...(5)

### Kekasaran Saluran

Energi aliran superkritis yang masuk dalam kolam olak akan direndam oleh kekasaran saluran.



Gambar 2. Gaya – gaya yang bekerja pada Loncat Hidraulik

Persamaan momentum pias 0-2 adalah :

$$\gamma A_0 z_0 - \gamma A \times h_f - \gamma A_2 z_2 = pQ(U_2 - U_0)$$

...(6)

$$\text{Bila } h_f = L_s \times \bar{S}_f \text{ dan } \bar{S}_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}}$$

...(7)

Substitusi persamaan (7) ke dalam persamaan (5) dan dengan penjabaran seperlunya, didapatkan :

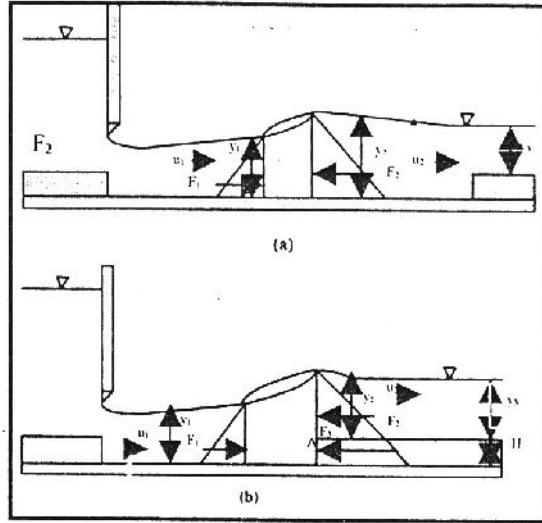
$$L_s = \frac{\frac{B}{2} (y_0^2 - y_2^2) + \frac{Q^2}{Bg} \left( \frac{y_2 - y_0}{y_0 x y_2} \right)}{\frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}}}$$

...(8)

### Persamaan Momentum Loncat Hidraulik

Bila  $L_a$  adalah panjang kolam olak,  $L = L_s + L_j$ , dimana  $L_s$  adalah jarak antara pintu air dengan awal loncat hidraulik dan  $L_j$  adalah panjang loncat hidraulik, maka posisi loncat hidraulik di dalam kolam olak, yaitu :

- Apabila  $L/L_a < 1$ , maka persamaan yang berlaku adalah persamaan 1.
- Apabila  $L/L_a \geq 1$ , maka fenomena loncat hidraulik yang terjadi pada peninggian saluran secara mendadak.



Gambar 3. Posisi Loncat Hidraulik dalam Kolam Olak

Persamaan momentum di ujung hilir kolam olak (Gambar 3) adalah :

$$F_1 - F_2 - F_3 = pQ(U_2 - U_1) \quad \dots(9)$$

Dengan

$$F_1 = \frac{1}{2} \gamma B y_1^2$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \gamma y_2 B y_2^2$$

$$F_3 = -p U_1^2 B H$$

$$\dots(10)$$

Substitusi persamaan (10) ke dalam persamaan (9) dan dengan penjabaran seperlunya, didapatkan :

$$\frac{y_2}{y_1} = \sqrt{\frac{(1 + 2Fr_1^2)}{(1 + 2Fr_2^2)} + \frac{2Fr_1^2 H}{(1 + 2Fr_2^2)}}$$

$$\dots(11)$$

### Panjang Loncat Hidraulik

Rajaratnam dan Biro Reklamasi Amerika Serikat (USBR) mengusulkan hubungan panjang loncat hidraulik pada

lantai mendatar (Chow, V.T., 1959), yaitu :

$$L_j = A(y_2 - y_1) \quad \dots(12)$$

### 3. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini dimulai dengan kalibrasi debit aliran yang melalui *Standart Tilting Flume* dan didapatkan satu nilai debit, yaitu **Q = 4830 cm<sup>3</sup>/det**, yang besarnya disesuaikan dengan kapasitas *flume* pada saat *sluice gate* dipasang dengan bukaan pintu terkecil agar air tidak meluap.

Tinggi bukaan pintu air  $y_0$ , masing – masing bukaan **1.25 cm, 1.5 cm dan 2 cm**, agar didapatkan angka *Froude* dengan kisaran **1,0 < Fr<sub>1</sub> < 4,5**.

Pemberian nama pada model dengan ketentuan :

- a. **G1** (model dengan bukaan pintu 2 cm), **G2** (model dengan bukaan pintu 1,5 cm) dan **G3** (model dengan bukaan pintu 1.25 cm)
- b. **K1** (model dengan kedalaman kolam 1 cm), **K2** (model dengan kedalaman kolam 2 cm) dan **K3** (model dengan kedalaman kolam 3 cm)
- c. **E1** (model dengan tinggi *endsill* 1 cm), **E2** (model dengan tinggi *endsill* 2 cm)
- d. **D1** (model dengan jarak apron 120 cm), dan seterusnya sampai **D12** (model dengan jarak apron 10 cm)

Langkah kedua adalah mengatur kedalaman muka air hilir ( $y_3$ ).

Setelah debit konstan, pada tahapan ini dilakukan pengukuran ragam kedalaman aliran yang terbentuk di hilir pintu air dengan menggunakan *point gauge* antara lain kedalaman air di hulu pintu air  $y_{hulu}$  pada daerah *vena contracta*  $y_c$ , awal loncat hidraulik  $y_1$ , tinggi puncak loncat hidraulik  $y_p$ , kedalaman aliran di atas *endsill*  $y_{edsill}$  dan kedalaman aliran di hilir loncat hidraulik  $y_3$ . Sejalan dengan pelaksanaan tersebut juga dilakukan pengukuran jarak antara pintu air dengan awal loncatan  $L_s$ , panjang loncatan  $L_j$ , jarak antara awal loncatan sampai dengan puncak loncatan  $L_p$  dan jarak antara awal loncatan dengan letak *endsill* x.

Pelaksanaan pengukuran model selanjutnya dilakukan untuk setiap perubahan jarak apron, perubahan kedalaman kolam loncat hidraulik, perubahan tinggi *endsill* dan perubahan angka *Froude*. Pengukuran dibatasi hanya pada kondisi loncat hidraulik terbuka (*surface flow*), tidak termasuk kondisi loncat hidraulik terendam (*submertged flow*)

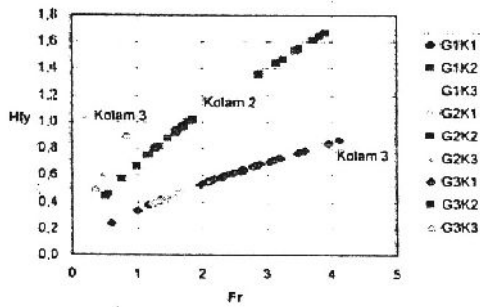
#### 4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Kekasaran Saluran

Hasil pengamatan secara fisik untuk debit sebesar  $Q = 4830 \text{ cm}^3/\text{det}$  diperoleh kedalaman normal sebesar  $y_n = 5,7 \text{ cm}$ . untuk bukaan pintu  $y_0 = 1,25 \text{ cm}$  posisi awal loncat hidraulik adalah  $L_s = 191 \text{ cm}$  dan panjang loncat hidraulik  $L_j = 31 \text{ cm}$ . dengan menggunakan **persamaan 8**, didapatkan nilai  $n = 0,0027$ .

##### Pengaruh Kedalaman dan Panjang Kolam Olak (*apron*) terhadap Parameter Loncat Hidraulik

Gambar 4 memperlihatkan bahwa untuk suatu nilai *Froude number* yang sama,  $H/y_1$  pada kedalaman kolam 1 ( $H = 1 \text{ cm}$ )  $< H/y_1$  pada kedalaman kolam 2 ( $H = 2 \text{ cm}$ ) dengan nilai perbandingan 1 : 2. hal ini menunjukkan bahwa nilai  $y_1$  tidak dipengaruhi oleh kedalaman kolam olak.



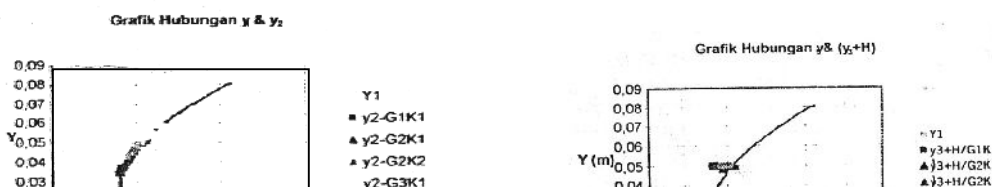
Gambar 4. Hubungan eksperimental antara  $Fr$  dan  $H/Y_1$  pada kolam

Koordinat – koordinat yang terbentuk pada gambar 4 menunjukkan bahwa nilai  $H/y_1$  yang senantiasa berkurang setiap dilakukan perubahan panjang  $L_a$ . Hal ini disebabkan perlawanan gaya yang terjadi di ujung hilir kolam olak untuk mengimbangi tekanan hidrostatik yang terdistribusi sepanjang apron semakin kecil. Jarak untuk mereduksi distribusi tekanan hidrostatik yang semakin pendek ( $L_a$  semakin pendek), menyebabkan tekanan hidrostatik yang terjadi akan semakin kecil (ditandai dengan perubahan nilai  $Fr_1$ ). Pada jarak  $L_a$  tertentu, kedalaman kolam olak tidak efektif lagi dalam memecah energi. Hal tersebut berkaitan dengan angka *Froude*, yaitu pertama apabila nilai  $Fr_1$  terlalu kecil hingga melewati batas *vena contracta* dan menimbulkan loncatan terendam (*submerged jump*).

### Pengaruh Kedalaman dan Panjang Kolam Olak (*apron*) Terhadap Kedalaman Hilir (*Tailwater Depths*)

Dengan menggambarkan kedalaman ( $y$ ) berserta gaya spesifik ( $F_s$ ) pada suatu penampang saluran dengan debit tertentu, diperoleh lengkung gaya spesifik. Untuk suatu nilai gaya spesifik, lengkung gaya spesifik memiliki dua kemungkinan kedalaman yaitu  $y_1$  (*initial depth*) dan  $y_2$  (*sequent depth*). Gaya spesifik pada penampang 1 ( $y_1$ ) dan 2 ( $y_2$ ) adalah sama ( $F_1 = F_2$ ), jika gaya – gaya luar dan berat air di bagian saluran yang lurus di antara kedua penampang dapat diabaikan (Chow, V.T.,1959).

Hubungan nilai  $y_1$  dan  $y_2$  hasil penelitian diperlihatkan pada gambar 5a. sebagai contoh, untuk suatu model  $G_2K_1$ ,  $D_4 = 90$  cm;  $y_1 = 0,0153$  m dan  $y_2 = 0,0515$  ; nilai  $F_{s1} = F_{s2} = 0,000553$  m<sup>3</sup>.



Gambar 5. Nilai  $y_1$ ,  $y_2$  &  $y_3$  hasil eksperimen pada lengkung gaya spesifik

Gambar 5b memperlihatkan hubungan antara nilai  $y_1$  dan  $y_3$  (tailwater depth) hasil penelitian, dimana untuk satu model, dengan panjang apron yang beragam, nilai  $y_3$  tetap. Pada model  $G_1K_1$ ,  $D_4 = 90$  cm,  $y_1 = 0,0242$  m;  $F_{s_1} = 0,000412$  m<sup>3</sup>;  $y_3 = 0,050$  m. nilai  $y_3$  terletak di sisi atas lengkung gaya spesifik, yang artinya nilai  $y_3 > y_2$ . pada model  $G_2K_1$ ,  $G_3K_1$ ,  $G_2K_2$ ,  $G_3K_2$  memperlihatkan nilai  $y_3$  terletak di sisi dalam lengkung gaya spesifik, artinya bahwa nilai  $y_3 < y_2$ .

Gambar 5c memperlihatkan hubungan antara nilai  $y_1$  dan  $(y_3 + H)$  hasil penelitian. Pada model  $G_1K_1$ ,  $G_2K_2$ ,  $G_3K_2$ , dan sebagian dari model  $G_2K_1$ , memperlihatkan bahwa nilai  $y_3$  terletak di sisi atas lengkung gaya spesifik ( $y_3 > y_2$ ). Untuk model  $G_1K_1$  adanya

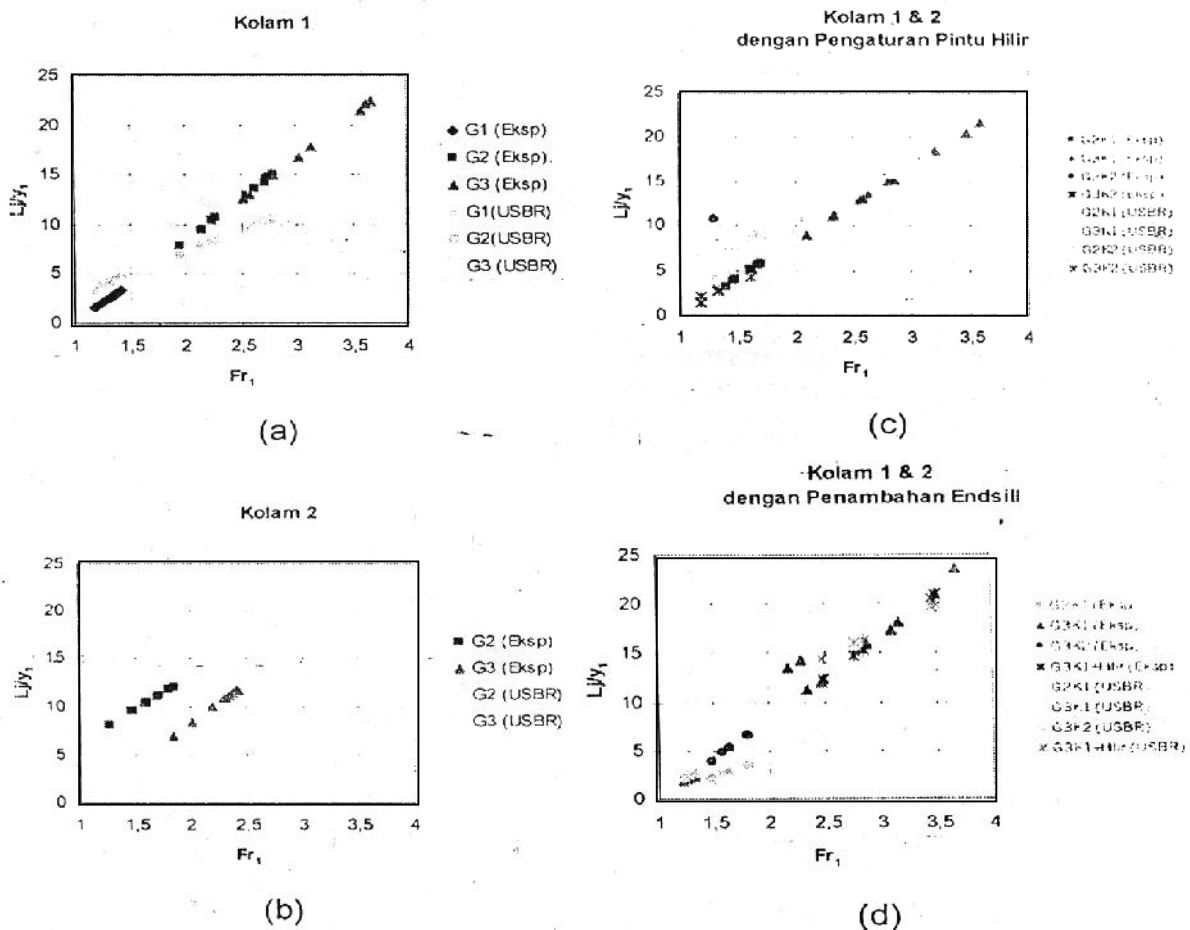
penambahan kolam hanya berfungsi untuk memperbesar pengaruh pembenaman, karena tanpa adanya penambahan kolam nilai  $y_3 > y_2$ . untuk model  $G_3K_1$  dan sebagian yang lain dari model  $G_2K_1$  menunjukkan bahwa nilai  $y_3$  terletak di sisi dalam lengkung gaya spesifik ( $y_3 < y_2$ ), untuk itu diperlukan penambahan kedalaman kolam agar  $y_3 \geq y_2$ , agar peredaman energi lebih memadai. Pada model  $G_2K_1$  untuk nilai  $y_3 < y_2$  terjadi pada apron dengan panjang 70 cm s/d 120 cm. untuk nilai  $y_3 = y_2$  terjadi pada apron dengan panjang 60 cm, sedangkan untuk nilai  $y_3 > y_2$  terjadi pada apron dengan panjang 20 s/d 50 cm.

#### **Panjang Loncat Hidraulik pada Kolam Olak**

Data – data hasil percobaan dapat dipetakan dengan absis *Froude number*

dan ordinatnya berupa rasio tak berdimensi  $L_j/y_1$ . Gambar 6 memperlihatkan adanya kesamaan pola dalam perubahan. Semakin besar angka  $Fr_1$ , maka  $L_j/y_1$  cenderung bertambah besar. Untuk suatu angka *Froude* yang sama, panjang loncat hidraulik yang terjadi semakin berkurang dengan adanya penambahan kedalaman kolam, pengaturan *tailwater depth* dan penambahan tinggi *endsill*.

Panjang loncat hidraulik ( $L_j$ ) pada kolam olak dengan  $H = 1$  cm (model  $G_2K_1$ , gambar 6a) lebih besar dibandingkan kolam olak dengan  $H=2$  cm ( $G_2K_2$ , gambar 6b). untuk kedalaman kolam olak tanpa *endsill* (model  $G_2K_1$ , gambar 6a) lebih besar dibandingkan kolam olek dengan penambahan *endsill* ( $G_2K_1$ , gambar 6d). Begitu pula untuk kolam olak dengan kedalaman kolam dengan penambahan *tailwater depth* akan mengurangi panjang loncat hidraulik.



Gambar 6. Hubungan angka *Froude* terhadap perubahan panjang loncat hidraulik

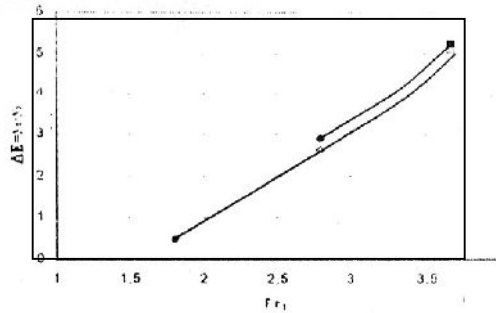
**Pengaruh Angka *Froude* terhadap Kehilangan Energi (*Head Losses*)**

Kehilangan energi pada loncat hidraulik adalah sama dengan perbedaan energi



spesifik sebelum dan sesudah terjadinya loncat hidraulik. Hasil analisa pada penelitian ini diperoleh hubungan antara angka *Froude* yang terbentuk pada

bukaan pintu ( $y_0$ ) terhadap besarnya kehilangan energi yang terjadi dimulai dari bukaan pintu ( $y_0$ ) hingga *tailwater depth* ( $y_3$ ).



Gambar 7. Perubahan angka *Froude* terhadap *head losses* ( $\Delta E = y_0 - y_3$ )

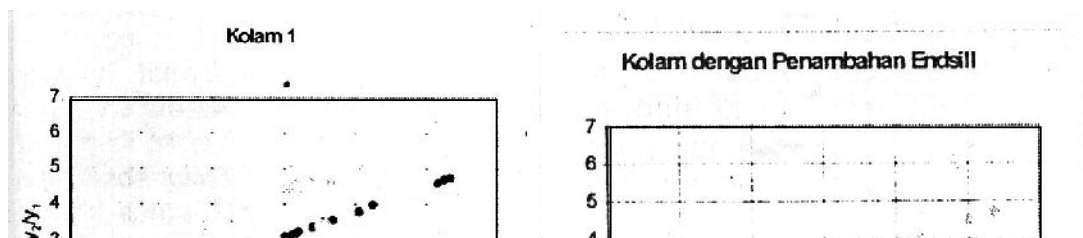
Gambar 7 memperlihatkan terjadinya kehilangan energi total, yaitu dimulai dari hilir *sluice gate* ( $y_0$ ) sampai kedalaman hilir ( $y_3$ ). Untuk suatu angka *Froude* yang sama, besarnya *head losses* dipengaruhi oleh kedalaman kolam yaitu  $G_2K_1$  dan  $G_2K_2$  serta  $G_3K_1$ , dan  $G_3K_2$ . Semakin besar kedalaman kolam, maka semakin besar pula energi yang direndam.

loncat hidraulik dalam kolam olak mempunyai dua kemungkinan, yaitu :

- Apabila  $L/La < 1$  (gambar 3a), maka persamaan yang berlaku adalah **persamaan 1**
- Apabila  $L/La \geq 1$  (gambar 3b), maka persamaan yang berlaku adalah **persamaan 11**

Dari Gambar 8a terlihat bahwa kolam olak dengan kedalaman  $H = 1$  cm sebagian besar posisi loncat hidraulik terletak pada  $L/La \geq 1$ , yang terjadi pada bukaan pintu  $y_0 = 1,25$  cm. hal ini menunjukkan bahwa angka *Froude* yang besar menyebabkan kolam olak belum dapat mengendalikan posisi loncat hidraulik.

**Perbandingan  $y_2/y_1$  Hasil Penelitian dengan  $y_2/y_1$  Hasil Formulasi Analitik**  
Perbandingan  $y_2/y_1$  hasil penelitian dengan  $y_2/y_1$  hasil formulasi analitik diplotkan dalam bentuk grafik hubungan antara angka *Froude* dengan  $y_2/y_1$  dan diperlihatkan pada gambar 8. posisi



Gambar 8. Perbandingan nilai  $y_2/y_1$   
hasil penelitian dengan hasil  
formulasi analitik

Adanya penambahan kedalaman kolam seperti yang terlihat pada gambar 8b menjelaskan hampir seluruh loncat hidraulik berada pada posisi di dalam kolam olak.

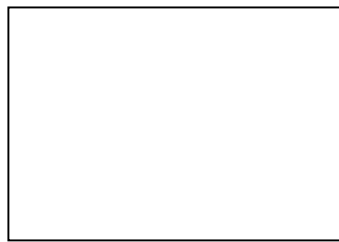
Gambar 8d. memperlihatkan bahwa kolam olak dengan penambahan *endsill* dapat menggeser loncat hidraulik ke arah hulu. Sehingga seluruh posisi loncat hidraulik berada dalam kolam olak.

Sedangkan pada gambar 8e. memperlihatkan bahwa adanya penambahan *tailwater depth* dan *endsill* pada kolam olak hanya akan memperbesar pengaruh pembedaan.

Terdapat kecenderungan yang sama antara hasil penelitian dengan hasil dari formulasi analitis. Untuk kolam dengan penambahan *endsill* dan pengaturan hilir antara hasil penelitian dengan hasil dari formulasi analitis memberikan hasil yang hampir sama.

### **Pengaruh Angka *Froude* terhadap Posisi Awal Loncat Hidraulik**

*Froude number* dipengaruhi oleh besarnya debit dan tinggi bukaan *sluice gate*. Hasil analisa pada penelitian ini diperoleh hubungan antara angka *Froude* yang terbentuk pada awal loncat hidraulik ( $y_1$ ) terhadap posisi awal loncat hidraulik ( $L_s$ ).



Gambar 9. Hubungan Angka *Froude* terhadap  $y_1/L_s$ .

Koordinat – koordinat pada model  $G_3K_1$ ,  $G_2K_1$ , dan  $G_1K_1$  dengan panjang kolam olak yang sama ( $L_a$  sama) dihubungkan, maka grafik asitosis ke arah titik 1, begitu diambil suatu angka *Froude*  $Fr = 2,75$  untuk model dengan panjang kolam olak yang sama :

- Pada model  $G_2K_1$   $y_1/L_s = 0,066$  sehingga  $L_s = y_1/0,066$
- Pada model  $G_2K_2$   $y_1/L_s = 0,281$  sehingga  $L_s = y_1/0,281$

Hal yang sama terjadi pada model  $G_3K_1$  dan  $G_3K_2$ . Dari angka – angka tersebut

dapat disimpulkan bahwa adanya penambahan kedalaman kolam olak mengakibatkan  $L_s$  semakin pendek.

### **5. KESIMPULAN**

Berdasarkan pembahasan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

- Bila diambil suatu nilai *Froude number* untuk model dengan panjang kolam olak yang sama, adanya penambahan kedalaman kolam olak mengakibatkan  $L_s$  semakin pendek

- b. Untuk suatu nilai *Froude number* yang sama, panjang loncat hidraulik yang terjadi semakin berkurang dengan adanya penambahan kedalaman kolam olak, penambahan *tailwater depth* dan penambahan tinggi *endsill*
- c. Penambahan kedalaman dan panjang kolam olak, penambahan *tailwater depth* dan penambahan tinggi *endsill* dapat memperbesar pengaruh peredaman energi
- d. Penambahan *endsill* pada ujung hilir kolam olak dapat mengurangi terjadinya osilasi yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada tanggul – tanggul dari tanah dan riprap.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Bos, M.G., 1978, *Discharge Measurement Structure*, ICRI, Netherlands
- Chow, V.T., 1959, *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Kogakusha Ltd, Tokyo
- Hager, W.H dan lin, D., 1992, *Sill Controlled Energy Dissipator*, Journal of Hydraulics Research vol. 30-92, halaman 165-181
- Mossa M., Petrillo A. dan Chanson H., 2002, *Tailwater Levelo Effects on Flow Conditions at an Abrupt Drop*, Journal of Hydraulics Research vol.40-4

Rangga Raju, K.G., 1986, *Aliran Melalui Saluran Terbuka*, terjemahan Yan Piter Pangaribuan, Erlangga, Jakarta

Sharma, S.K., 1988, *Design of Irrigation Structure*, S. Chad & Company (Pvt) LDT, New Delhi

Wu, S. and Rajaratnam, N., 1995, *Effect of Buffles on Submerged Flow*, Journal of Hydraulics Engineering vol. 121, no. 9, September, ASCE

### **Biodata :**

**Yuliman Ziliwu**, Alumni (S1) Teknik Sipil UTP Surakarta (1994). Pasca Sarjana (S2) Program Magister Teknik Sipil UNDIP Semarang (2002), Lahir di Ambukha Nias 4 Juni 1966. Dosen di Program Studi Teknik Sipil UTP dari tahun 1996 sampai sekarang. Pernah menjabat sebagai Pembantu Dekan II dari tahun 2002 sampai 2006 dan Wakil Dekan dari tahun 2006 sampai 2010.