

FENOMENA HIDROLIS PADA PINTU SORONG

Rosyadah Fahmiah¹, Mudjiatko², Rinaldi²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Email : rosyadah.fahmiah@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The sluice gate is a hydraulic structure that used for controlling the discharge on dam or irrigation canal. Their discharge coefficient depends on geometric and hydraulic parameters. Swamee (1992) presents two formulas for calculating the discharge coefficient (Cd) for free flow and submerged flow based on Henry's Curve (1950). Laboratory models used to find out the flow phenomenon that was formed due to a difference in the edge shape of the sluice gate and increased gate base. The simulation done by varying the height of the gate opening (a) and the discharge (Q). The results of the study obtained the length of water jumps (Lj) formed on the sluice gate with edge 45° is longer than the sluice gate with edge 90°. The discharge coefficient (Cd) value on the sluice gate with edge 45° is higher than the discharge coefficient (Cd) value on the gate with edge 90°. The energy loss trendline (ΔE) obtained shows the value of ΔE increases with increasing h_2/h_1 . The value of the critical flow coefficient range (Ckr) on the sluice gate with edge 45° and 90° increases with the increase in base height. The results of this study also add to the long trendline of previous research that has been done by Klaas (2009).

Keywords: Discharge Coefficient, Energy Loss, Hydraulic Jump, Sluice Gate

A. Pendahuluan

Pintu sorong dalam sistem irigasi berfungsi untuk mengatur debit yang dialirkan dari bendung ke dalam saluran irigasi yang ada dibelakangnya. Koefisien debit pada pintu sorong merupakan fungsi dari geometri saluran dan parameter hidrolis. Henry (1950) melakukan penelitian eksperimental mengenai variasi nilai koefisien debit (Cd). Hasil dari penelitiannya dikenal dengan Kurva Henry. Berdasarkan Kurva Henry, Swamee (1992) menyajikan dua formula untuk menghitung nilai koefisien debit (Cd) berdasarkan kondisi aliran, yaitu aliran bebas dan aliran terendam.

Aliran yang mengalir di bawah pintu sorong dimulai dari aliran superkritis kemudian berubah menjadi aliran subkritis. Pada aliran super kritis kedalaman air kecil dengan kecepatan

besar, sedangkan pada aliran sub kritis kedalaman aliran besar dengan kecepatan kecil, hal ini menyebabkan terjadinya pelepasan energi yang mengakibatkan terbentuknya loncat air. Binilang (2014) menyatakan bahwa gambaran tentang suatu fenomena perubahan perilaku hubungan antar parameter hidrolis dari loncat air diperlukan dalam perencanaan bangunan air. Setiap kondisi aliran baik sebelum, saat, dan sesudah terjadi loncat air dan hubungan antara masing-masing karakteristik, merupakan permasalahan yang dapat mengakibatkan penyimpangan dalam perencanaan.

Perubahan aliran melewati pintu sorong menghasilkan fenomena aliran yang beragam. Sehingga perlu dilakukan suatu kajian simulasi pintu sorong guna mengetahui fenomena aliran yang terbentuk, akibat adanya perbedaan pada

bentuk bibir pintu sorong dan variasi kenaikan dasar pintu.

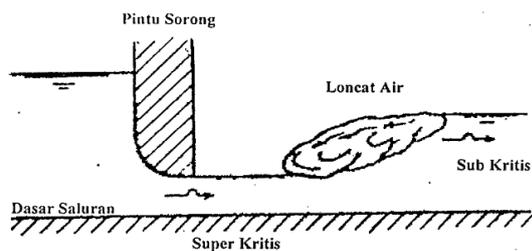
Saluran terbuka adalah suatu alur dimana air mengalir dengan permukaan bebas. Pada semua titik sepanjang aliran tekanan pada permukaan bebas adalah sama yaitu tekanan atmosfer. Berdasarkan bilangan Froude (Fr), aliran pada saluran terbuka dapat dibedakan menjadi aliran sub kritis, kritis, dan super kritis. Pada aliran sub kritis nilai $Fr < 1$, aliran kritis nilai $Fr = 1$, dan aliran super kritis nilai $Fr > 1$.

Untuk saluran berbentuk persegi, bilangan Froude didefinisikan sebagai :

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

Pintu sorong merupakan bangunan hidraulik yang sering digunakan untuk mengatur debit pada embung atau saluran irigasi. Dalam sistem irigasi, pintu sorong biasanya ditempatkan pada bagian pengambilan dan bangunan bagi sadap, baik itu sekunder maupun tersier.

Saat pintu dibuka, aliran yang mengalir melewati pintu sorong di mulai dari aliran super kritis hingga berubah menjadi aliran sub kritis. Perubahan aliran tersebut menyebabkan terbentuknya loncat air seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Aliran Melewati Pintu Sorong
(Sumber : Qomar, 2003)

Variasi bukaan pintu akan mempengaruhi debit aliran dan profit muka air di bagian hilir. Rajaratnam (1977) dalam Klaas (2010), menyatakan hubungan antara bukaan pada pintu sorong (a) dengan kedalaman pada vena kontrakta (h^*) adalah sebagai berikut :

$$a = \frac{h^*}{0,64} \quad (2)$$

Pada kondisi kritis dimana $Fr = 1$, maka di dapat :

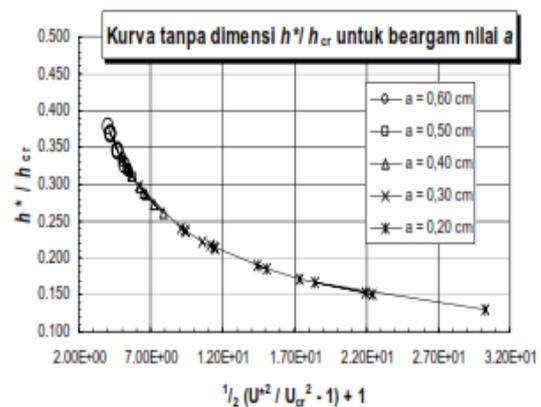
$$V_{kr} = \sqrt{g \cdot h_{kr}} \quad (3)$$

$$h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (4)$$

Koefisien aliran kritis (C_{kr}) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut :

$$\frac{h^*}{h_{kr}} = C_{kr} \cdot \left(\frac{1}{2} \left(\frac{V^{*2}}{V_{kr}^2} - 1 \right) + 1 \right) \quad (5)$$

Klaas (2009) melakukan penelitian mengenai karakteristik aliran kritis pada pintu sorong, hasil dari penelitian tersebut ialah kurva tak berdimensi $\frac{h^*}{h_{kr}}$, seperti diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2. Kurva Takberdimensi $\frac{h^*}{h_{kr}}$

Sumber : (Klaas, 2010)

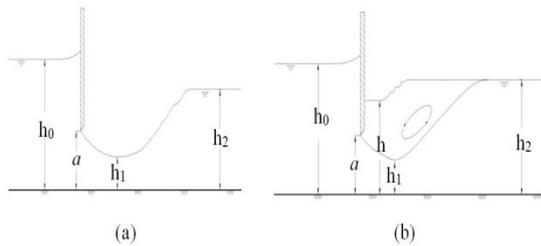
Perubahan aliran pada pintu sorong menyebabkan terjadinya pelepasan energi yang ditunjukkan dengan terbentuknya loncat air. Secara teoritis energi yang dimusnahkan pada loncat air dihitung dengan persamaan berikut.

$$\Delta E = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 \cdot h_2 \cdot h_1} \quad (6)$$

Untuk saluran segiempat, panjang loncat air diambil 5 dan 7 kali tinggi loncat air.

$$L = 5 - 7(h_2 - h_1) \quad (7)$$

Terdapat dua kondisi aliran melewati pintu sorong yaitu aliran bebas dan aliran terendam, seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Aliran Melewati Pintu Sorong
(a) Aliran bebas; (b) Aliran Terendam
(Sumber : Oskuyi, 2012)

Swamee (1992) mengembangkan persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan kondisi aliran yang terjadi pada pintu sorong.

Aliran bebas :

$$h_0 \geq 0,81 h_2 \left(\frac{h_2}{a}\right)^{0,72} \quad (8)$$

Aliran terendam :

$$h_2 < h_0 < 0,81 h_2 \left(\frac{h_2}{a}\right)^{0,72} \quad (9)$$

Debit aliran merupakan jumlah volume air yang mengalir dalam waktu tertentu melalui suatu penampang. Pengukuran debit (Q) dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu pengukuran debit secara langsung (*volumetric*) dan pengukuran debit secara tidak langsung.

Pengukuran debit secara langsung :

$$Q = \frac{v}{t} \quad (10)$$

Pengukuran debit secara tidak langsung :

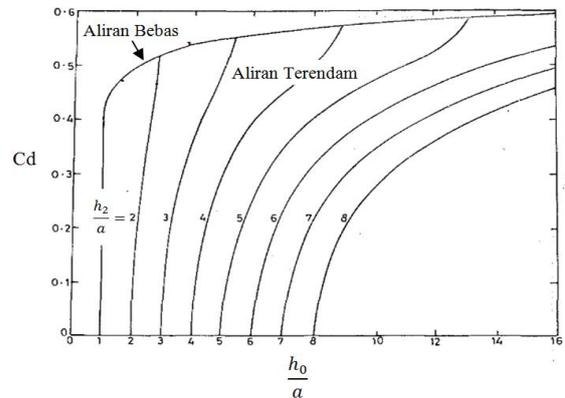
$$Q = A \times V \quad (11)$$

Perhitungan debit melewati pintu sorong untuk saluran segi empat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q = C_d b a \sqrt{2gh_0} \quad (12)$$

Henry (1950) melakukan penelitian mengenai koefisien debit (Cd) pada pintu sorong melalui percobaan laboratorium dengan menggunakan persamaan (12) dan

menghasilkan Kurva Henry, yang menyatakan hubungan antara h_0/a dengan nilai Cd seperti yang terlihat pada Gambar berikut.



Gambar 4. Kurva Henry

Berdasarkan kurva Henry (1950), Swamee (1992) menyajikan formula untuk menghitung nilai koefisien debit (Cd) pada pintu sorong dalam kondisi aliran bebas dan aliran terendam.

Aliran bebas :

$$C_d = 0,611 \left(\frac{h_0 - a}{h_0 - 15a}\right)^{0,072} \quad (13)$$

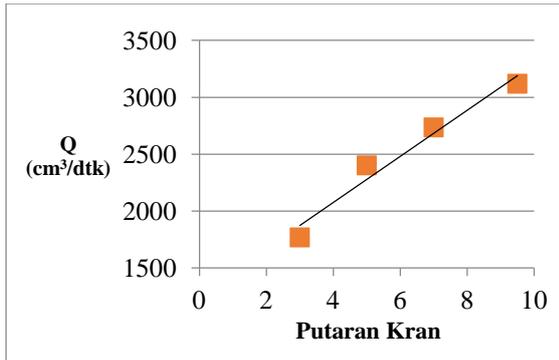
Aliran terendam :

$$C_d = 0,611 \left(\frac{h_0 - a}{h_0 - 15a}\right)^{0,072} \left\{ 0,32 \left[0,81 h_2 \left(\frac{h_2}{a}\right)^{0,72} - h_0 \right]^{0,7} + (h_0 - h_2)^{0,7} \right\}^{-1} \quad (14)$$

B. Metodologi Penelitian

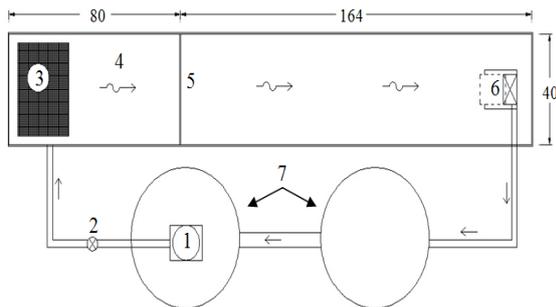
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidroteknik Fakultas Teknik Universitas Riau.

Pengukuran debit (Q) dalam penelitian ini menggunakan *Hydraulic Bench*. Nilai debit (Q) diperoleh dengan cara mengkalibrasi jumlah putaran kran yang terdapat pada pipa penyalur air dari pompa ke dalam *flume*. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali pada masing-masing putaran kran. Debit yang digunakan merupakan debit rata-rata pada masing-masing putaran kran.



Gambar 6 Kurva Kalibrasi Nilai Debit (Q)

Peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah *flume*, pompa air, mistar, pita ukur, *hydraulic bench* dan drum. *Flume* yang digunakan pada penelitian berbahan dasar akrilik dengan ketebalan 5 mm, memiliki dimensi panjang 244 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 41 cm, seperti terlihat pada Gambar 7.

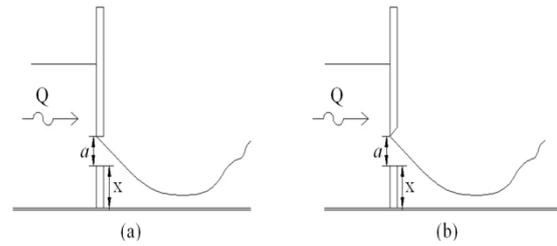


Gambar 7 Sketsa Model *Flume*

Keterangan :

1. Pompa air
2. Kran pengatur debit
3. Peredam
4. Bak penampung pada *flume*
5. Pintu sorong
6. *Outlet*
7. Drum penampung air

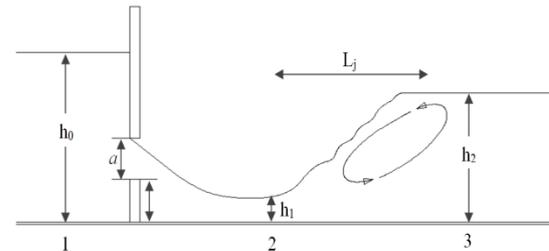
Model pintu yang digunakan berbentuk persegi dengan dua variasi bentuk bibir pintu, yaitu dengan sudut 90° dan 45° . Memiliki dimensi 40 cm x 35 cm dengan ketebalan 0,6 cm. Dasar pintu (x) dalam penelitian ini divariasikan dengan ketinggian 3 cm, 4 cm, dan 5 cm dengan ketebalan 0,6 cm. Konstruksi pintu yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Sketsa Konstruksi Pintu
(a) Bibir Pintu 90° , (b) Bibir Pintu 45°

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan besarnya bukaan pintu (a), bentuk pada bibir pintu sorong dan debit aliran (Q).

Pengambilan data dilakukan dengan mencatat kedalaman air di bagian hulu pintu (h_0), kedalaman air pada vena kontrakta (h_1) dan kedalaman hilir (h_2), serta panjang loncat air (L_j), seperti diperlihatkan pada Gambar 9 berikut.

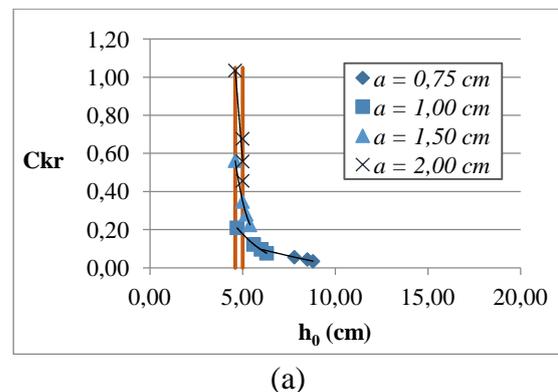


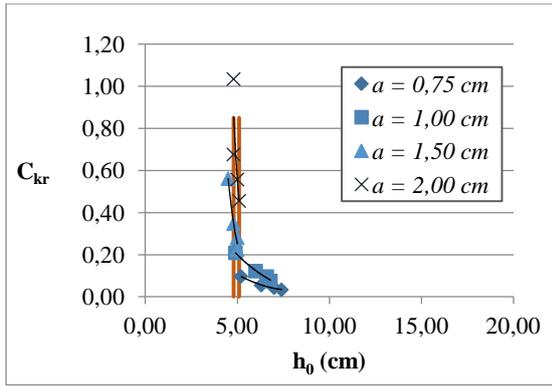
Gambar 9 Sketsa Pengambilan Data

C. Hasil dan pembahasan

C.1. Hubungan Antara h_0 dengan Koefisien Aliran Kritis (C_{kr})

Kurva hubungan antara h_0 dengan koefisien aliran kritis (C_{kr}) untuk variasi tinggi dasar (x) 3 cm pada pintu dengan bibir pintu 45° dan 90° disajikan pada gambar berikut.

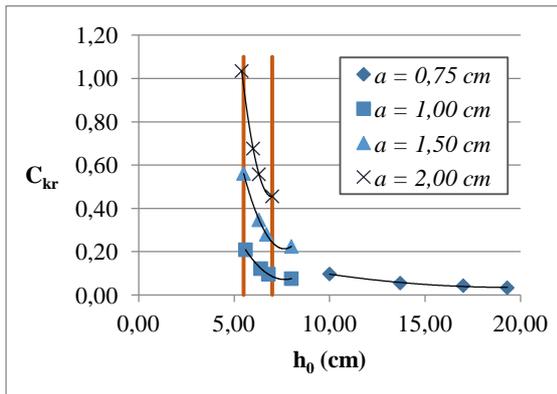




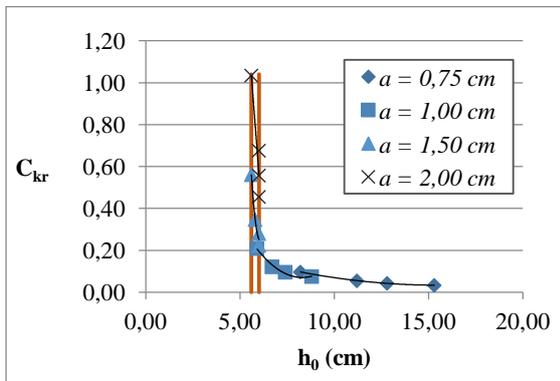
(b)

Gambar 10 Kurva Hubungan h_0 vs C_{kr} pada Tinggi Dasar (x) 3 cm (a) Bibir Pintu 45^0 (b) Bibir Pintu 90^0

Adapun kurva hubungan antara h_0 dengan koefisien aliran kritis (C_{kr}) untuk variasi tinggi dasar (x) 4 cm pada pintu dengan bibir pintu 45^0 dan 90^0 disajikan pada gambar berikut.



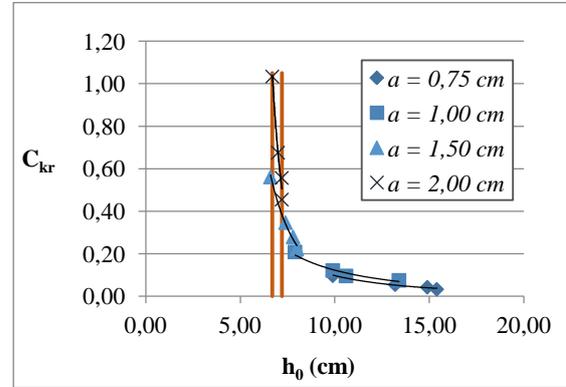
(a)



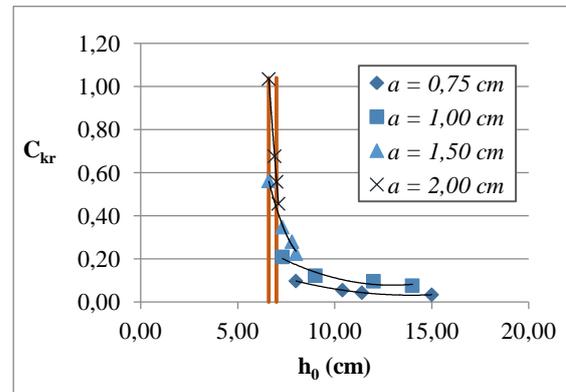
(b)

Gambar 11 Kurva Hubungan h_0 vs C_{kr} pada Tinggi Dasar (x) 4 cm (a) Bibir Pintu 45^0 (b) Bibir Pintu 90^0

Adapun kurva hubungan antara h_0 dengan koefisien aliran kritis (C_{kr}) untuk variasi tinggi dasar (x) 5 cm pada pintu dengan bibir pintu 45^0 dan 90^0 disajikan pada gambar berikut.



(a)



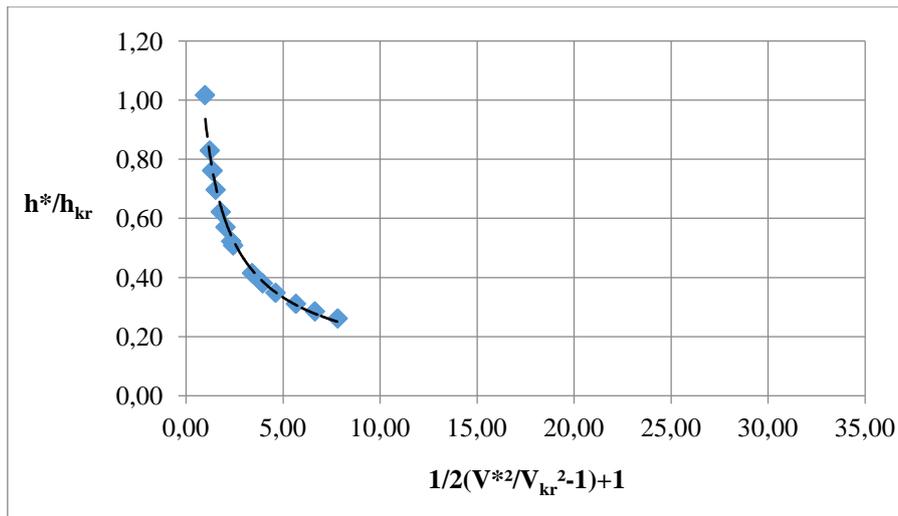
(b)

Gambar 12 Kurva Hubungan h_0 vs C_{kr} pada Tinggi Dasar (x) 5 cm (a) Bibir Pintu 45^0 (b) Bibir Pintu 90^0

Berdasarkan Gambar 10, 11, dan 12, dapat dilihat bahwa hubungan koefisien aliran kritis (C_{kr}) berbanding lurus dengan bukaan pintu (a), dimana nilai C_{kr} terbesar terjadi pada variasi bukaan pintu (a) 2 cm. Nilai koefisien aliran kritis (C_{kr}) terendah terjadi pada kedalaman hulu (h_0) terbesar di tiap variasi bukaan pintu (a).

C.2. Kurva Tak Berdimensi h^*/h_{kr} untuk Beragam Bukaan Pintu (a)

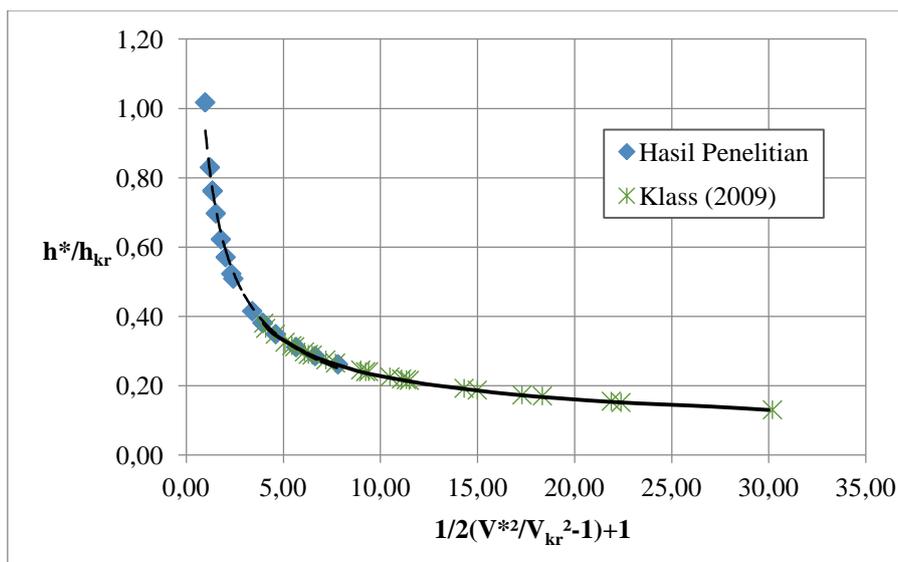
Kurva tak berdimensi h^*/h_{kr} untuk beragam bukaan pintu (a), diperlihatkan pada Gambar 13 berikut.



Gambar 13 Kurva tak berdimensi h^*/h_{kr}

Dua Klaas (2009), telah melakukan penelitian eksperimental yang menghasilkan kurva tak berdimensi h^*/h_{kr} . Hasil analisis h^*/h_{kr} dalam penelitian ini

kemudian diplotkan kedalam kurva penelitian yang telah dilakukan oleh Klaas (2009), seperti diperlihatkan pada Gambar berikut.



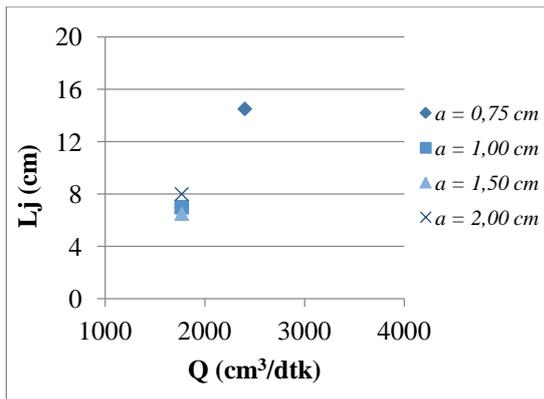
Gambar 14 Hasil Plot Kurva Tak Berdimensi h^*/h_{kr}

Berdasarkan Gambar 14, dapat dilihat bahwa hasil dari penelitian menambah panjang *trendline* hasil penelitian terdahulu. Hal ini dikarenakan variasi bukaan pintu (a) yang dilakukan oleh Klaas (2009) berskisar antara 0,20 cm sampai 0,60 cm dengan kenaikan 0,10 cm pada setiap pengujiannya, sedangkan variasi bukaan pintu (a) yang digunakan dalam penelitian ini lebih besar, yakni 0,75 cm, 1,00 cm, 1,50 cm, dan 2,00cm.

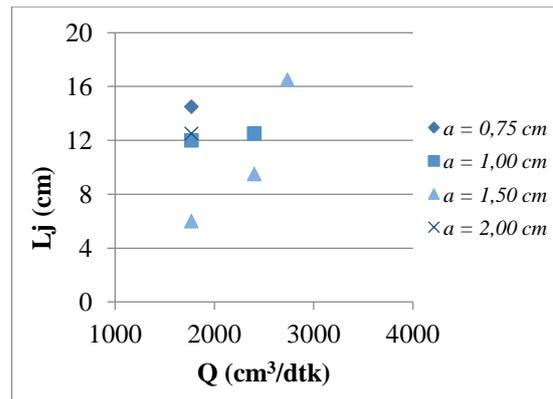
C.3. Hubungan Antara Debit (Q) dengan Panjang Loncat Air (L_j)

Gambaran karakteristik berupa hubungan antara parameter hidrolis pada loncat air diperoleh berdasarkan data-data pengukuran dan hasil analisis.

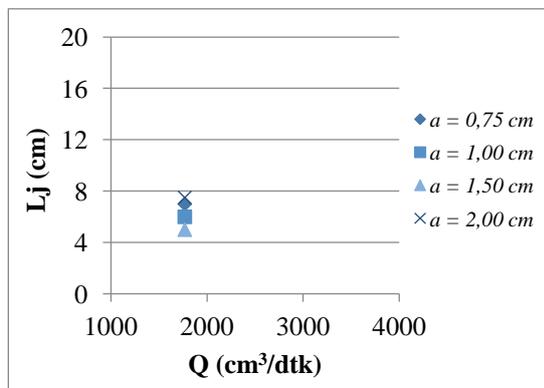
Hubungan antara besarnya nilai debit aliran (Q) dengan panjang loncat air (L_j) untuk model pintu dengan tinggi dasar (x) 3 cm disajikan pada Gambar berikut ini.



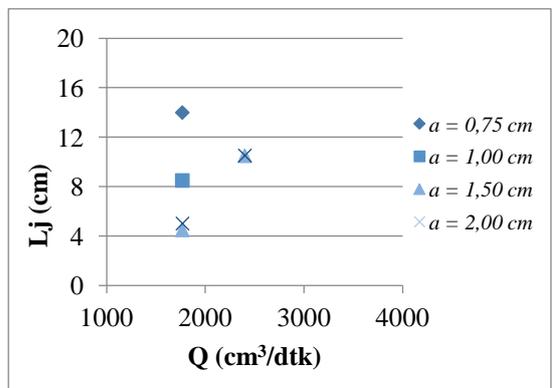
Gambar 15 Kurva Hubungan Q vs Lj pada Tinggi Dasar (x) 3 cm untuk Bibir Pintu 45^0



Gambar 17 Kurva Hubungan Q vs Lj pada Tinggi Dasar (x) 4 cm untuk Bibir Pintu 45^0



Gambar 16 Kurva Hubungan Q vs Lj pada pada Tinggi Dasar (x) 3 cm untuk Bibir Pintu 90^0



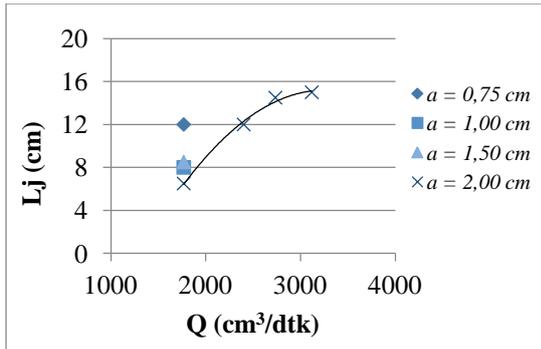
Gambar 18 Kurva Hubungan Q vs Lj pada Tinggi Dasar (x) 4 cm untuk Bibir Pintu 90^0

Berdasarkan Gambar 15 dan 16, dapat dilihat bahwa loncat air terjadi pada variasi debit terkecil (Q_1) di semua variasi bukaan pintu (a). Hal ini dikarenakan seiring dengan bertambahnya debit, kedalaman di bagian hilir pintu berada diatas bukaan pintu. Kondisi aliran yang terbentuk ialah aliran terendam, sehingga loncat air tidak terjadi. Akibat adanya perbedaan bentuk pada bibir pintu dapat dilihat bahwa panjang loncat air (L_j) yang terbentuk pada pintu sorong dengan bibir pintu 45^0 lebih panjang dibanding dengan loncat air pada pintu sorong dengan bibir pintu 90^0 .

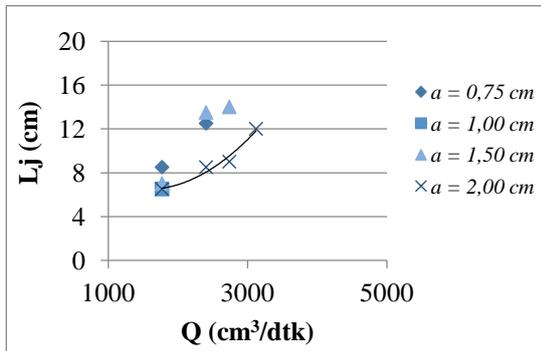
Hubungan antara besarnya nilai debit aliran (Q) dengan panjang loncat air (L_j) untuk model pintu dengan tinggi dasar (x) 4 cm disajikan pada gambar berikut ini.

Hubungan antara nilai debit (Q) dengan panjang loncat air (L_j) yang disajikan pada Gambar 17 dan 18, terlihat loncat air yang terjadi pada beberapa variasi bukaan pintu menunjukkan bahwa nilai loncat air (L_j) bertambah besar seiring dengan bertambahnya nilai debit (Q). Hal ini ditunjukkan pada pengujian dengan variasi bukaan pintu 1,00 cm dan 1,50 cm untuk pintu sorong dengan bibir pintu 45^0 dan pada variasi bukaan pintu 1,50 cm dan 2,00 cm untuk pintu sorong dengan bibir pintu 90^0 , dimana nilai panjang loncat air (L_j) pada Q_2 lebih besar dibandingkan pada Q_1 .

Hubungan antara besarnya nilai debit aliran (Q) dengan panjang loncat air (L_j) untuk model pintu dengan tinggi dasar (x) 5 cm disajikan pada gambar berikut ini.



Gambar 19 Kurva Hubungan Q vs Lj pada Tinggi Dasar (x) 5 cm untuk Bibir Pintu 45⁰



Gambar 20 Kurva Hubungan Q vs Lj pada Tinggi Dasar (x) 5 cm untuk Bibir Pintu 90⁰

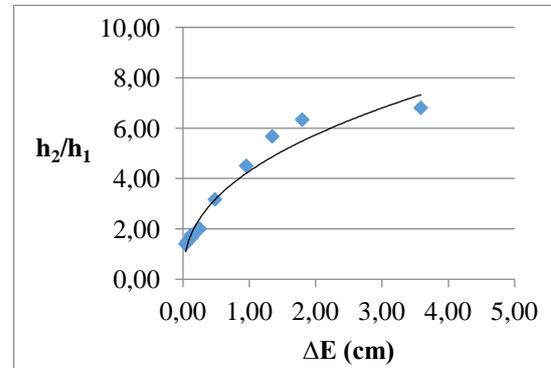
Berdasarkan Gambar 19 dan 20, dapat dilihat bahwa hubungan antara nilai debit (Q) dengan panjang loncat air (Lj) ialah berbanding lurus pada tiap variasi bukaan pintu. Hal ini diperlihatkan pada variasi $a = 0,75$ cm dan $a = 1,50$ cm untuk pintu sorong dengan bibir pintu 90⁰, begitu pun pada $a = 2$ cm untuk pintu sorong dengan bibir pintu 45⁰ mapapun 90⁰, nilai loncat air (Lj) bertambah besar seiring dengan bertambahnya nilai debit (Q). Selain itu, diketahui bahwa nilai panjang loncat air (Lj) pada pintu sorong dengan bibir pintu 45⁰ lebih besar dibandingkan pada pintu sorong dengan bibir pintu 90⁰.

C.4. Hubungan Antara Kehilangan Energi (ΔE) dengan h_2/h_1

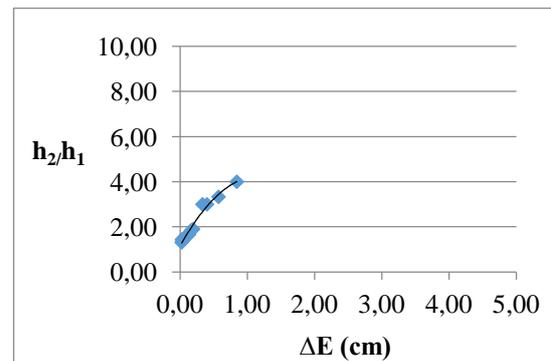
Fenomena loncat air adalah kondisi aliran yang diakibatkan oleh perubahan aliran dari superkritis mejadi subkritis.

Pada perubahan aliran tersebut, terjadi kehilangan energi yang cukup besar.

Hubungan antara kehilangan energi (ΔE) dengan perbandingan h_2/h_1 untuk tinggi dasar (x) 3 cm disajikan pada gambar berikut ini.



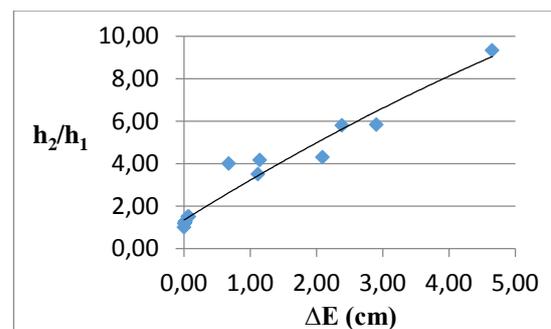
(a)



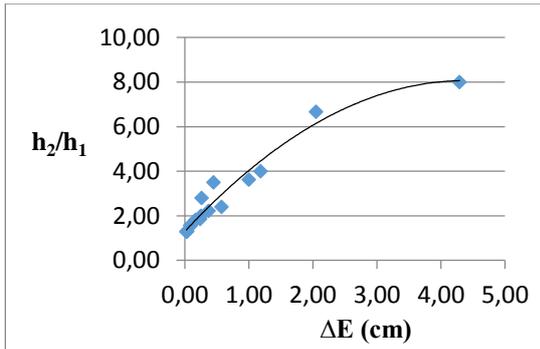
(b)

Gambar 22 Kurva Hubungan ΔE vs h_2/h_1 pada Tinggi Pintu (x) 3 cm (a) Bibir Pintu 45⁰ (b) Bibir pintu 90⁰

Adapun hubungan antara kehilangan energi (ΔE) dengan perbandingan h_2/h_1 untuk tinggi dasar (x) 4 cm disajikan pada Gambar berikut ini.



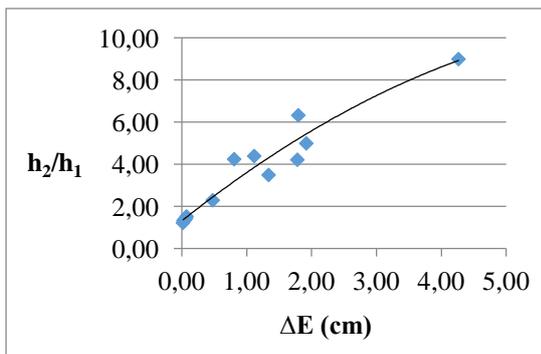
(a)



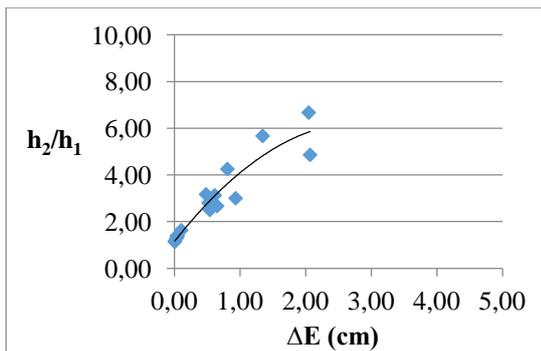
(b)

Gambar 23 Kurva Hubungan ΔE vs h_2/h_1 pada Tinggi Pintu (x) 4 cm (a) Bibir Pintu 45° (b) Bibir pintu 90°

Adapun hubungan antara kehilangan energi (ΔE) dengan perbandingan h_2/h_1 untuk tinggi dasar (x) 5 cm disajikan pada Gambar berikut ini.



(a)



(b)

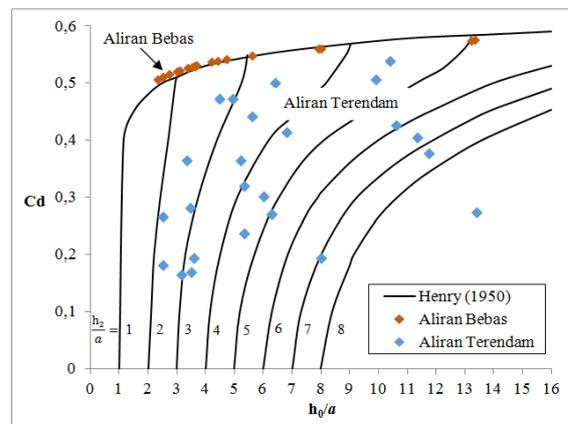
Gambar 24 Kurva Hubungan ΔE vs h_2/h_1 pada Tinggi Dasar (x) 5 cm (a) Bibir Pintu 45° (b) Bibir Pintu 90°

Berdasarkan Gambar 22, 23, dan 24, akibat adanya perbedaan pada bentuk bibir pintu sorong terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada *trendline*

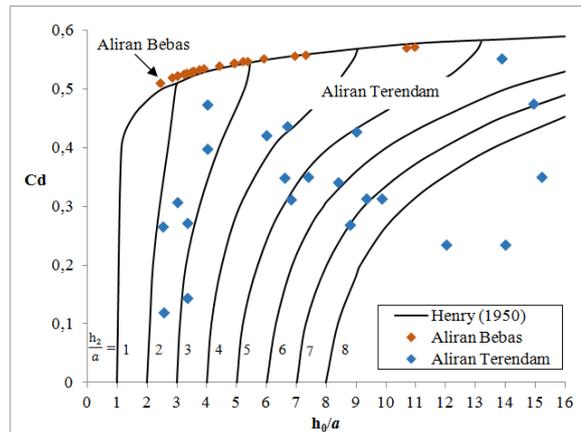
hasil analisis data. *Trendline* pada setiap pengujian menunjukkan bahwa semakin besar nilai h_2/h_1 , maka nilai kehilangan energinya (ΔE) semakin besar.

C.5 Pengaruh Hubungan Antara Cd dengan h_0/a

Henry (1950), melakukan penelitian mengenai variasi koefisien debit (Cd) dan menghasilkan kurva Henry. Pada penelitian ini diperoleh hubungan antara nilai Cd dengan h_0/a yang kemudian di plot kedalam kurva Henry seperti terlihat pada Gambar berikut.



Gambar 25 Hubungan Antara Cd dengan h_0/a untuk Pintu 45°



Gambar 26 Hubungan Antara Cd dengan h_0/a untuk Pintu 90°

Berdasarkan Gambar 25 dan 26, dapat dilihat bahwa sebaran data untuk masing-masing kondisi aliran yakni aliran bebas dan aliran terendam yang diperoleh sesuai dengan penelitian terdahulu oleh Henry (1950).

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai fenomena aliran pada pintu sorong, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Akibat pengaruh perbendaan bentuk pada bibir pintu, diketahui bahwa panjang loncat air (L_j) yang terbentuk pada pintu sorong dengan bibir pintu 45^0 lebih panjang dibanding dengan loncat air pada pintu dengan bibir pintu 90^0 .
2. *Trendline* kehilangan energi (ΔE) yang diperoleh menunjukkan kenaikan nilai ΔE pada semua variasi pengujian. Nilai kehilangan energi (ΔE) pada pintu sorong dengan bibir pintu 45^0 lebih besar dibandingkan pada pintu dengan bibir pintu 90^0 .
3. Pintu sorong dengan bibir pintu 45^0 memiliki *range* nilai koefisien aliran kritis (C_{kr}) lebih besar dibandingkan dengan pintu sorong dengan bibir pintu 90^0 .
4. Nilai koefisien debit (C_d) pada pintu dengan bibir 45^0 lebih besar dibandingkan dengan nilai C_d pada pintu dengan bibir pintu 90^0 .
5. Nilai *range* koefisien aliran kritis (C_{kr}) pada pintu sorong dengan bibir pintu 45^0 maupun 90^0 , bertambah seiring dengan bertambahnya kenaikan tinggi dasar.
6. Akibat pengaruh variasi bukaan pintu, diketahui bahwa loncat air terjadi pada variasi debit terkecil (Q_1) di semua variasi bukaan pintu (a).
7. Nilai koefisien aliran kritis (C_{kr}) bertambah, seiring dengan bertambah besarnya bukaan (a) pintu sorong.
8. Hasil dari penelitian menambah panjang *trendline* kurva tak berdimensi h^*/h_{kr} yang dilakukan oleh Klaas (2009).

9. Hasil dari penelitian pada bibir pintu 45^0 dan 90^0 sesuai dengan kurva Henry (1950), dimana nilai koefisien debit (C_d) data hasil pengukuran tersebar sesuai dengan kondisi aliran, yakni aliran bebas dan aliran terendam.

Daftar Pustaka

- Binilang, Alex. 2014. Perilaku Hubungan Antar Parameter Hidrolis Air Loncat Melalui Pintu Sorong Pada Saluran Terbuka. *Jurnal Ilmiah Media Engineering* Vol. 4 No.1, Maret 2014 (41-44) ISSN: 2087-9334.
- Dua K.S.Y. Klass. Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Kupang. *Karakteristik Aliran Kritis Pada Pintu Sorong*. Kupang.
- Oskuyi, Navid Nasehi., Salsami, Farzin. 2012. *Vertical Sluice Gate Discharge Coefficient*. *Journal of Civil Engineering and Urbanism* Vol. 2 Issue 3 (108-114) 2012.
- Qomar, Syeh. 2003. *Gerusan Lokal Dasar Saluran Pada Bukaan Di Hilir Pintu Sorong*. Semarang.
- Soedrajat. 1983. *Mekanika Fluida dan Hidraulika*. Bandung: Nova.
- Subramanya, K. 1982. *Flow in Open Channels*, New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited
- Swamee, Prabhata K. 1992. *Sluice-Gate Discharge Equation*. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* Vol. 118, No. 1, January/ February 1992 (56-60).
- Triatmodjo, Bambang. 1993. *Hidraulika II*, Yogyakarta: Betta Ofset.