

KAJIAN PENGARUH TINGGI BUKAAN PINTU AIR TEGAK TERHADAP KONDISI ALIRAN DI BAGIAN HILIR SALURAN PENAMPANG SEGI EMPAT (UJI LABORATORIUM)

Hendik Budianto (08 1061 1025), Program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Abstrak

Dalam perencanaan bangunan pintu air maka terlebih dahulu kita mengetahui sifat – sifat air pada bagian sebelum bukaan pintu dan sesudah bukaan pintu agar bangunan yang kita rencanakan dan kita bangun dapat efisien dan bisa bertahan lama serta tepat guna. Beberapa sifat yang terjadi pada bagian setelah bukaan pintu adalah gerusan, loncatan dan turbulen yang dihasilkan dari besarnya nilai Reynold dan aliran superkritis, kritis dan subkritis yang diketahui dengan cara perhitungan nilai bilangan Froude dan besarnya nilai yang dihasilkan tersebut karena adanya pengaruh tinggi bukaan pintu air.

Tahapan Penelitian adalah Persiapan, meliputi persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan, pengecekan alat-alat yang digunakan dalam pelaksanaan percobaan, serta menyiapkan beberapa personal untuk membantu pelaksanaan percobaan. Pelaksanaan Observasi harus dilakukan secara teliti. Adanya perbedaan dari tiap percobaan harus dicatat dalam buku catatan atau lembar khusus untuk mencatat tiap data yang diperoleh. 1. Mengatur dan menghitung debit aliran. 2. Mengatur tinggi bukaan pintu tegak. 3. Mengetahui tinggi muka air di hilir saluran penampang. 4. Menghitung kecepatan aliran, yaitu dengan rumus $V = L/U$. 5. Menganalisa loncatan air yang terjadi di hilir. 6. Menghitung nilai Froude. Setelah itu Pencatatan Data

Data sebelum percobaan, yaitu dimensi saluran, panjang 15 cm, lebar 400 cm, tinggi 24 cm. dan Data selama percobaan berlangsung, diantaranya 1. Debit aliran 2. Tinggi bukaan pintu tegak 3. Kecepatan aliran 4. Nilai bilangan Froude.

Setelah data-data tersebut dicatat dan diisikan ke dalam tabel yang telah dibuat, lalu dikoreksi/diperiksa, kemudian dilakukan analisis data

Dari hasil penelitian diperoleh data sebagai berikut: Dengan variasi debit 0.771, 0.729, dan 0.692 liter/detik dengan tinggi bukaan pintu 0.5, 1, dan 1.5 diketahui bahwa semakin tinggi bukaan pintu air maka nilai Bilangan Froude semakin kecil dan semakin rendah tinggi bukaan pintu air maka Bilangan Froude semakin besar. Dengan variasi debit 0.771, dan 0.692 liter/detik dengan tinggi bukaan pintu 0.5, 1, dan 1.5 diketahui bahwa semakin tinggi bukaan pintu air maka nilai Bilangan Reynold semakin kecil dan semakin rendah tinggi bukaan pintu air maka Bilangan Reynold semakin besar. Loncatan air setelah bukaan pintu juga dipengaruhi oleh besaran debit dan tinggi bukaan pintu, dengan panjang maksimum diperoleh 140 cm.

Kata kunci : kondis,i aliran, dibagian, hilir, saluran, penampang, segi empat.

Abstract

The first step in planning the floodgates building is know the main water characteristics before and after opening door chapter, so the buildings that planned and constructed can build efficiently, last a long time and appropriately . Some effect that may occurred in part after the door opening are scouring , jumping and turbulent because of the result from highest of Reynolds value and the supercritical flow , critical and subcritical which known by calculating the value of Froude number and the value generated is due to the influence of height vertical floodgates opening.

The experimental method is one of the research methods based on laboratory testing. The steps are including the preparation of tools and materials , checking the equipment and prepare the team for the implementation of experiment. The implementation of observation must be done carefully . The big difference from each experiment should be recorded in a notebook or a special sheet to record each of the data obtained , such as : 1. Manage and calculate the flow rate . 2. Set up the vertical floodgates opening . 3. Knowing the water level in the cross-section of downstream canal. 4. Calculate the flow velocity, by the formula $V = L / U$. 5. Analyze the springboard water in the downstream. 6. Calculating the value of Froude. Then taking the experiment data by making the dimensions of the canal, length 15cm , width 400cm , height 24cm. The data that's observe during the experiment , such as : 1 . The flow rate 2. Height vertical floodgates opening 3. The flow velocity 4. The value of Froude number

After the data is recorded and written in the table that has been made , then corrected or review it, and analysis the data.

The sample of research data were obtained : the variation of the discharge 0.771, 0.729 and 0.692 liters/second with Height of floodgates opening 0.5, 1 and 1.5 are known that more higher the floodgates opening, The value of Froude number are lower and more lower the floodgates opening, The value of Froude number are greater. The variation of discharge 0.771, and 0.692 liters/second with height of floodgates opening 0.5, 1, and 1.5 are known that more higher the floodgates opening, The value of Reynold Numbers are lower and more lower the floodgates opening, The value of Reynold Numbers are greater. The Springboard water after the floodgates openings are also affected by the amount of discharge and high floodgates openings , with a maximum length of 140cm.

Keyword : *The downstream flow conditions, Cross sections canal.*

I. PENDAHULUAN

Sebelum membangun suatu bangunan maka terlebih dahulu merencanakannya agar bangunan tahan lama, tepat guna dan efisien dalam penggunaan bahan bangunan. Perencanaan bangunan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus dan uji laboratorium atau juga dengan cara perbandingan antara rumus – rumus teoritis dengan hasil penelitian yang dilakukan pada laboratorium demi mendapatkan hasil yang maksimal.

Pada kali ini penelitian terfokuskan pada bangunan air yaitu perkuatan bangunan setelah bukaan pintu tegak (*sluice gate*) yang pada kenyataannya terjadi berbagai sifat aliran seperti menurut Bilangan Froude (Fr) aliran di bedakan menjadi aliran subkritis, aliran kritis dan aliran super kritis. Sedangkan menurut Bilangan Reynold (Rn) aliran di bedakan menjadi aliran turbulen dan laminar. Dari sifat – sifat aliran yang terjadi setelah bukaan pintu maka akibat yang ditimbulkan jika tidak direncanakan dengan

baik adalah bangunan cepat rusak karena tidak dapat menahan kondisi aliran yang terjadi dan jika pembangunan menggunakan bahan berlebih maka akan memakan bahan dan biaya yang lebih.

dari masalah yang telah di kemukaan diatas maka penelitian dilakukan untuk mengetahui berbagai aliran yang terjadi dengan variasi debit dan bukaan pintu serta mengetahui kecepatan aliran, panjang dan tinggi loncatan hidraulik. Agar didapat data yang maksimal, penelitian dilakukan dengan perbandingan antara hasil perhitungan teori dengan hasil yang di dapat pada lapangan sehingga panjang dan tinggi bangunan di buat dengan efisien. Oleh karena itu, peneliti mengajukan proposal tugas akhir dengan judul “Kajian Pengaruh Tinggi Bukaan Pintu Air Tegak Terhadap Kondisi Aliran Di Bagian Hilir Saluran Penampang Segi Empat (Uji Laboratorium)”.

1. Mengetahui pengaruh tinggi bukaan pintu air terhadap bilangan Reynold (Rn) di hilir saluran.
2. Mengetahui pengaruh bukaan pintu terhadap panjang loncatan hidraulik dengan perbandingan analisa hasil perhitungan teoritis dengan hasil pada lapangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bilangan Reynold dan Bilangan Froude

Mula-mula diperkirakan dulu derajat besaran (*order of magnitude*) dari gaya inersia, gaya gravitasi, gaya kekentalan (viskositas). Parameter-parameter yang digunakan: panjang (l), kecepatan (v), massa jenis fluida (ρ), percepatan gravitasi (g), dan koefisien kekentalan fluida (μ). Untuk masing-masing gaya diperoleh derajat besaran sebagai berikut:

Tipe Gaya	Derajat Besaran
1. Inersia	$\rho v^2 l^2$
2. Gravitasi	$\rho g l^3$
3. Kekentalan	$\mu v l$

Perkiraan ini tidak dapat ditafsirkan dengan tepat, namun perkiraan ini adalah sah dalam pengertian bahwa perubahan besarnya parameter l, v, r, dan μ akan berpengaruh pada gaya.

Prinsip utama yang diperhatikan adalah bahwa ketiga gaya bekerja bersamaan dan besaran relatif dipertahankan, sehingga menghasilkan aliran yang mempunyai gerakan sama. Untuk hal ini diperjelas dengan membentuk perbandingan ketiga gaya tersebut. Maka diperoleh persamaan seperti berikut.

$$\frac{\text{gayainersia}}{\text{gayagravitasi}} = \frac{\rho v^2 l^2}{\rho g l^3} = \frac{v^2}{g l}$$

$$\frac{\text{gayainersia}}{\text{gayakekentalan}} = \frac{\rho v^2 l^2}{\mu v l} = \frac{\rho v l}{\mu}$$

$$\frac{\text{gayagravitasi}}{\text{gayakekentalan}} = \frac{\rho g l^3}{\mu v l} = \frac{\rho g l^2}{\mu v}$$

Perbandingan dari gaya inersia terhadap gaya kekentalan dikenal sebagai bilangan Reynold yang dapat disajikan dengan persamaan seperti berikut.

$$Rn = \frac{v \cdot R}{\nu}$$

Dengan :
 V = Kecepatan rata-rata
 R = Jari – jari hidrolis
 ν = viskositas atau kekentalan kinematik

berikut rumus yang digunakan untuk mengetahui kecepatan, jari – jari hidrolis dan viskositas atau kekentalan kinematik.

Kecepatan :

$$V = \frac{L}{\text{Urata-rata}}$$

Jari – jari hidraulik :

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

Penampang basah: $A = b \times h$

Keliling basah : $P = b + 2h$

Kekentalan kinematik:

$$\nu = 1,792 \times 10^{-6} \left(1 + \left[\frac{T}{25} \right]^{1,165} \right)^{-1}$$

Sedangkan untuk bilangan Froude didapatkan bentuk persamaan sebagai berikut.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}}$$

Dengan :

Fr = Bilangan Froude

V = Kecepatan (m)

g = Gaya gravitasi (m/det²)

h = tinggi penampang basah (m)

2.2 Jenis-jenis Aliran

2.2.1 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen

Gaya-gaya dalam aliran yang disebabkan oleh inersia, gravitasi, dan kekentalan berpengaruh dalam berbagai masalah yang nyata mengenai aliran ini. Berdasarkan besarnya bilangan Reynold, dikenal aliran dengan harga R_n rendah yang mengikuti garis lintasan tertentu. Garis tersebut menggambarkan lintasan dari suatu partikel fluida tertentu. Aliran dari harga R_n rendah dapat diamati dan ditandai dengan meluncurnya satu lapisan yang lain. Aliran yang demikian disebut dengan aliran laminar.

Campuran antara lapisan-lapisan fluida yang berbeda terjadi dengan harga bilangan R_n yang lebih tinggi. Jenis aliran ini, dimana hampir tidak terdapat garis lintasan tertentu yang dapat diamati. Aliran yang demikian dikenal sebagai aliran turbulen. Jadi, gaya kekentalan terlalu kecil untuk meredam gangguan pada bilangan Reynold yang tinggi, maka aliran menjadi turbulen.

Percobaan-percobaan pada saluran terbuka menunjukkan, bahwa aliran itu tetap laminar jika $R_n < 2100$ dan aliran ini menjadi turbulen apabila $R_n > 4000$, diantara aliran laminar dengan turbulen dinamakan aliran transisi yaitu jika $2100 < R_n < 4000$. Bilangan froude adalah perbandingan

antara gaya inersia dengan gaya gravitasi (per satuan volume).

2.2.2 Aliran Subkritis, Super Kritis, dan Kritis

Aliran saluran terbuka dapat diklasifikasikan ke dalam jenis yang berbeda menurut beberapa hal, diantaranya berdasarkan nilai dari bilangan Froude atau *Froude Number*. Bilangan froude adalah perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gravitasi (per satuan volume).

Aliran dikatakan kritis apabila bilangan Froude = 1, aliran disebut subkritis apabila $Fr < 1$ dan superkritis apabila $Fr > 1$.

2.3 Contoh – contoh aliran

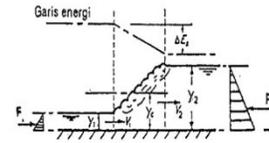
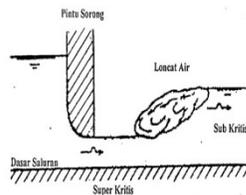
Dari penjelasan di atas, aliran fluida dapat digolongkan menjadi lima kelompok besar. Namun pada kenyataannya, suatu aliran merupakan gabungan dari aliran-aliran di atas.

1. Suatu aliran yang besarnya tetap melalui pipa yang panjang dan penampangnya sama adalah aliran tetap dan seragam.
2. Aliran cairan yang besarnya sama dan tetap melalui suatu pipa dengan penampang yang semakin membesar atau mengecil, merupakan suatu contoh aliran tetap tak seragam.
3. Jika besarnya aliran bertambah atau berkurang dalam hubungannya dengan waktu pada suatu penampang tetap atau penampang yang berubah, maka hasilnya masing-masing adalah suatu aliran tidak tetap, seragam, dan suatu aliran tidak tetap tak seragam.

4. Antara aliran laminar dan turbulen dengan aliran subkritis dan super kritis dapat dilakukan penggolongan yang didasarkan pada harga bilangan Froude dan bilangan Reynold. Penggolongan tersebut seperti berikut.
 - a. Laminar Subkritis : $Fr < 1,0$; $Rn < 2100$.
 - b. Laminar Super Kritis : $Fr > 1,0$; $Rn < 2100$.
 - c. Turbulen Subkritis : $Fr < 1,0$; $Rn > 4000$.
 - d. Turbulen Super Kritis : $Fr > 1,0$; $Rn > 4000$.
5. Aliran dikatakan kritis apabila $Fr = 1,0$ yang kemudian aliran itu ada dalam keadaan peralihan/transisi, jika $2100 < Rn < 4000$.

2.4 Aliran Air Melewati Bukaannya Pintu

Jika tipe aliran di saluran berubah dari aliran super kritis menjadi subkritis, maka akan terjadi loncatan air. Loncatan air merupakan salah satu contoh bentuk aliran berubah cepat (*rapidly varied flow*). Keadaan ini terjadi misalnya pada aliran air melewati bukaan pintu air tegak (*sluice gate*). Aliran di bagian hulu setelah melewati bukaan pintu adalah super kritis, sedangkan di bagian hilir menjadi aliran subkritis. Di antara kedua tipe tersebut terdapat daerah transisi dimana loncatan air terjadi (seperti ditunjukkan gambar 2.1).



Gambar 2.2. Transisi loncatan

Pada loncatan air, kecepatan aliran berkurang mendadak dari V_1 menjadi V_2 . Sejalan dengan itu, kedalaman air juga bertambah dengan cepat dari y_1 menjadi y_2 , sehingga dapat dilihat olakan air yang sangat besar, disertai dengan berkurangnya energi aliran. Setelah loncatan air, aliran menjadi tenang dengan kedalaman besar dan kecepatan kecil.

2.5 Karakteristik Dasar Loncatan Air

Beberapa karakteristik dasar loncat air pada saluran persegi empat dengan kemiringan dasar saluran horisontal adalah (Chow V.T, 1959) :

- a. Menurut Hwang N.H.C. (1981), kehilangan energi pada loncat air sama dengan perbedaan energi spesifik sebelum dan sesudah loncat air. Besarnya kehilangan loncat air tersebut (Chow V.T, 1959) :

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_1 - E_2 \\ &= \frac{\alpha \mu^2}{2g} + y_1 - \frac{\alpha \mu^2}{2g} + y_2 \\ &= y_1 - y_2 + \frac{\alpha q^2}{g} \frac{1}{2y_1^2} \frac{1}{2y_2^2} \\ &= y_1 - y_2 + \frac{(y_1+y_2)(y_1-y_2)}{2y_1^2 y_2^2} \frac{\alpha q^2}{2g} \end{aligned}$$

dengan menggabungkan persamaan diatas dengan salah satu persamaan hasil penjabaran momentum, diperoleh :

$$\Delta E = y_1 - y_2 + \frac{(y_1+y_2)y_1 y_2 (y_1+y_2)}{2y_1^2 y_2^2}$$

dan dengan penyederhanaan, maka ΔE menjadi :

$$\Delta E = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2}$$

- b. Efisiensi loncat air merupakan perbandingan antara energi spesifik pada akhir loncat air dengan awal loncat air yang didefinisikan sebagai efisiensi loncatan (Chow V.T., 1959).

Sehingga efisiensi loncatan dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\frac{E1}{E2} = \frac{(1 + 8Fr1^2)^{1/2} - 4Fr1^2 + 1}{8Fr1^2(2 + Fr1^2)}$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa efisiensi loncatan merupakan fungsi tak berdimensi, dan dapat dilihat serta dinyatakan dalam bilangan *Froude* sebelum loncatan.

- c. Tinggi loncatan air adalah perbedaan antara kedalaman sesudah dan sebelum loncatan dan biasanya dinyatakan sebagai :

$$hj = y2 - y1$$

dengan menyatakan setiap besaran sebagai perbandingan terhadap energy spesifik semula, $E1$, maka :

$$\frac{hj}{E1} = \frac{y2}{E1} - \frac{y1}{E1}$$

dengan $h_j / E1$ = tinggi loncat air relatif, $y2 / E1$ = kedalaman mula-mula relatif, dan $y2 / E1$ = kedalaman lanjutan (*sequent*) relatif.

Untuk mendapatkan panjang loncatan air, tidak ada rumus teoritis yang dapat digunakan untuk menghitungnya. Panjang loncat air dapat ditentukan dengan percobaan di laboratorium. Untuk saluran segi empat, panjang loncatan air diambil dari 5 dan 7 kali tinggi loncat air.

Smetana (1953):

$$L = \{Range(5-7)\}(y2-y1)$$

Woyeski (1931):

$$L = \{8-0,05(y2-y1)\}(y2-y1)$$

Rumus untuk mengetahui kedalaman di hilir ialah:

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

2.6 Loncatan Air Ditinjau dari Lokasi dan Posisi Loncatan

Loncatan akan terjadi pada saluran persegi panjang horisontal jika kedalaman mula dan kedalaman lanjutan serta bilangan *Froude* (*Fr*) dari segi pendekatan analitik memenuhi persamaan momentum dari hasil analisa suatu fenomena aliran yang terjadi

(Chow V.T. dalam Pudyono, 2013:120). Subramanya dan Legono (dalam Pudyono, 2013:120) juga mengatakan, bahwa kondisi aliran bebas dicapai bila aliran di depan pintu adalah subkritis dan di belakang pintu berupa aliran superkritis, pada kondisi inilah terjadi loncat air (*hydraulics jump*).

Pada sebagian besar bangunan irigasi, sering ditemui fenomena loncat air, pada saat terjadi perubahan aliran super kritis ke subkritis. Kejadian itu, misalnya terjadi pada bagian hilir pintu geser tegak (*sluice gate*) dan di bagian hilir bangunan pelimpah. Lokasi pembentuk loncat air sangat dipengaruhi oleh kedalaman air di hilir bangunan pintu air geser. Chow (dalam Pudyono, 2013:120) mengatakan, bahwa ada tiga kemungkinan terbentuknya pola loncat air di daerah hilir bangunan pintu air geser, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Bentuk 1, menggambarkan pola aliran dimana kedalaman air bawah (*tail water depth*) y_2' sama dengan kedalaman y_2 , y_2 yakni *conjugate depth* y_1 . Pada keadaan ini, loncat air segera terjadi setelah aliran melewati y_1 . Guna perencanaan lantai hilir, maka keadaan tersebut adalah kondisi ideal.

Bentuk 2, menggambarkan pola aliran dimana kedalaman air hilir (*tail water depth*) y_2' lebih kecil daripada y_2 . Hal ini mengakibatkan lokasi loncat air bergeser ke hilir ke suatu titik. Untuk menghindari kejadian itu dapat dibuat bangunan pengontrol pada dasar saluran, yang juga akan menaikkan kedalaman air hilir, berupa *baffle block* atau *end sill*, agar loncat air terjadi pada lantai hilir yang diberi lapisan lindung.

Bentuk 3, menggambarkan pola aliran dimana kedalaman air hilir (*tail water depth*) y_2' lebih besar daripada y_2 . Hal ini menunjukkan kedalaman air hilir pada kasus 1 bertambah besar. Akibatnya, loncat air didorong ke arah hulu dan akhirnya loncat air tersebut akan hilang dan berubah menjadi loncatan terendam (*submerged*). Rancangan ini merupakan rancangan paling aman untuk

dibuat, sebab posisi loncat air terendam ini lebih dapat dipastikan berada tepat di belakang pintu geser atau dengan kata lain, sangat mudah ditentukan posisi loncatannya. Tetapi, keadaan ini dipandang tidak efisien dalam meredam energi yang kecil.

Kemudian, gambaran dari loncatan hidraulik di bagian hilir bukaan pintu air dapat bervariasi sesuai dengan bilangan Froude. Keadaan tersebut dapat dibedakan menjadi:

1. Jika bilangan Froude $Fr = 0 - 1$, maka sukar terjadi gelombang di permukaan air. Dengan kata lain, terjadi aliran terbenam. Loncatan air tidak terlalu kuat.
2. Jika bilangan Froude $Fr = 1 - 1,7$, maka gelombang muncul pada permukaan air. Loncatan tersebut disebut loncatan berombak atau *undular jump*.
3. Jika bilangan Froude $Fr = 1,7 - 2,5$, maka terjadi gelombang ombak kecil di permukaan loncatan, yang kemudian disebut loncatan lemah atau *weak jump*. Permukaan bagian hilir menjadi tenang.
4. Jika bilangan Froude $Fr = 2,5 - 4,5$, maka terjadi semburan berkilasi bergerak ke permukaan. Keadaan ini disebut loncatan berkilasi atau *oscillating jump*.
5. Apabila bilangan Froude $Fr = 4,5 - 9,0$ maka akan terjadi ujung permukaan yang bergulung dengan permukaan air yang tenang di bagian hilir. Keadaan ini disebut loncatan tetap atau *steady jump*. Di dalam hal ini peredaman energi dapat mencapai 45% - 70%.
6. Jika bilangan Froude $Fr > 9$, maka terjadilah loncatan yang kuat dengan pusaran yang keras, sehingga menyebabkan gelombang di bagian hilir. Keadaan ini disebut loncatan kuat atau *strong jump*. Peredaman energi di dalam hal ini sampai 85%.

2.6.1 Panjang Loncatan Air

Panjang loncat air dapat didefinisikan sebagai jarak yang diukur dari awal loncat air hingga suatu titik dibagian hilir gelombang loncat air (Chow, V.T, 1959). Jadi Panjang loncatan hidraulik air dapat didefinisikan sebagai jarak antara permukaan depan loncatan air sampai menuju pada suatu titik permukaan gelombang ombak di bagian hilir. Panjang loncatan hidraulik air secara teoritis sukar ditentukan, tetapi telah diselidiki beberapa kali percobaan oleh beberapa ahli hidraulika (Rangga Raju dalam dalam Aji dan Kris Darmadi, 2007:51). Beberapa hasil eksperimen memberikan kurva hubungan antara angka Froude (Fr) dengan rasio panjang loncat air (L_j) dan kedalaman air di hulu loncat air (y_1) atau kedalaman air di hilir loncat air (y_2). Biro Reklamasi Amerika Serikat (USBR) dan Rajaratnam mengusulkan hubungan panjang loncatan hidraulik pada saluran persegi empat dengan kelandaian dasar horisontal sebagai berikut;

$$L_j = A(Y_2 - Y_1)$$

dengan A adalah konstanta yang bervariasi antara 5 hingga 7 sedangkan y_1 dan y_2 kedalaman aliran di hulu dan di hilir loncat air. Persamaan di atas ditunjukkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 2.10.

Dalam membandingkan kurva ini dengan kurva Bakhmeteff-Matzke, ditemukan ketidakcocokan yang sangat jelas. Penyelidikan terhadap materi yang digunakan dalam percobaan memberikan suatu kesimpulan bahwa, penyimpangan tersebut disebabkan oleh pengaruh skala benda uji yang digunakan Bahmeteff dan Matzke. Pengaruh skala ini mempunyai arti, bahwa gerakan prototipe tidak semuanya dilakukan oleh model. Bila tidak ada data yang memadai maka kurva tersebut juga dapat digunakan sebagai pendekatan untuk

loncatan hidrolis air pada saluran trapesium. Selanjutnya, Sivester (1964) merumuskan panjang loncat air tersebut sebagai berikut.

$$\frac{L_j}{y_1} = 9.75 (Fr - 1)^{1.01}$$

Keterangan:

L_j = panjang loncat air

y_1 = kedalaman aliran sebelum

loncatan

Fr = bilangan *Froude* sebelum

loncatan

2.6.2 Hubungan Kedalaman Konjugasi Pada Loncatan Air

Kedalaman konjugasi suatu loncatan air pada aliran bebas saluran empat persegi dengan dasar landai atau datar, dapat digambarkan sebagai hubungan antara kedalaman sebelum loncatan (*pre-jump*) dan setelah loncatan (*postb jump*) yang biasa disebut kedalaman berurutan (*conjugate depth*). Sedangkan bentuk hubungan itu dapat dicapai dengan menurunkan persamaan momentum atau gaya spesifik dengan asumsi (K.G.Rangga Raju dalam Daries, 2012) :

- Distribusi kecepatan adalah seragam dan distribusi tekanan adalah hidrostatis pada kedua ujung loncatan (sisi potong).
- Dasar saluran adalah mendatar atau horizontal (*slope = 0*).
- Tegangan geser batas dapat diabaikan.

2.7 Debit Aliran

Debit adalah jumlah aliran air (volume) yang mengalir melalui suatu penampang dalam waktu tertentu. Debit adalah satuan besaran air yang keluar dari Daerah Aliran Sungai (DAS). Satuan debit yang digunakan adalah meter kubik per detik (m^3/s). Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu (Asdak, 2002 dalam Wandy).

Sejalan dengan teori di atas, Dumiary (dalam Wandy, 2012) mengatakan, bahwa debit adalah suatu koefisien yang

menyatakan banyaknya air yang mengalir dari suatu sumber per satuan waktu, biasanya diukur dalam satuan liter per/detik, untuk memenuhi kebutuhan air pengairan, debit air harus lebih cukup untuk disalurkan ke saluran yang telah disiapkan. Sedangkan menurut Langrage, 1813 (dalam Hiyu), debit merupakan suatu cara menyatakan gerak fluida adalah dengan mengikuti gerak tiap partikel di dalam fluida. Namun, menurut Mulyana (dalam Wandy, 2012) debit air sungai merupakan tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air sungai. Jadi dapat disimpulkan, bahwa debit aliran merupakan jumlah volume air yang mengalir dalam waktu tertentu melalui suatu penampang air, sungai, saluran, pipa atau kran. Fungsi dari pengukuran debit aliran adalah untuk mengetahui seberapa banyak air yang mengalir pada suatu sungai dan seberapa cepat air tersebut mengalir dalam waktu satu detik. Pengukuran debit dapat dilakukan dengan berbagai macam cara yaitu (Arsyad dalam Wandy):

- Pengukuran volume air sungai.
- Pengukuran debit dengan cara mengukur kecepatan aliran dan menentukan luas penampang melintang sungai.
- Pengukuran dengan menggunakan bahan kimia yang dialirkan dalam sungai.
- Pengukuran debit dengan membuat bangunan pengukur debit.

Untuk mengetahui debit air maka harus mengetahui satuan ukuran volume dan satuan ukuran waktu terlebih dahulu, karena debit air berkaitan dengan satuan volume dan satuan waktu. Berikut disajikan tabel konversi satuan waktu dan satuan volume.

Tabel 2.1. Konversi volume dan waktu untuk dapat mengetahui debit air

Satuan Waktu	Satuan Volume
1 Jam = 60 Detik	1 Liter = 1 dm ³ =
1 Menit = 60 Detik	1.000cm ³ =
1 Jam = 3.600 Detik	1.000.000 mm ³ =
1 Menit = 1/60 Jam	0,001m ³
1 Jam = 1/3.600 Detik	1cc = 1mL = 1 cm ³

Dalam sistem SI, besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik. Debit aliran juga dapat dinyatakan dalam persamaan $Q = A \times V$, dimana A adalah luas penampang (m²) dan V adalah kecepatan aliran (m/detik).

2.7.1 Faktor Penentu Debit Air

Hal-hal berikut ini adalah yang mempengaruhi debit air:

1. Intensitas Hujan

Curah hujan merupakan salah satu faktor utama yang memiliki komponen musiman yang dapat secara cepat mempengaruhi debit air, dan siklus tahunan dengan karakteristik musim hujan panjang (kemarau pendek), atau kemarau panjang (musim hujan pendek). Yang menyebabkan bertambahnya debit air.

2. Pengundulan Hutan

Fungsi utama hutan dalam kaitan dengan hidrologi adalah sebagai penahan tanah yang mempunyai kelerengan tinggi, sehingga air hujan yang jatuh di daerah tersebut tertahan dan meresap ke dalam tanah untuk selanjutnya akan menjadi air tanah. Air tanah di daerah hulu merupakan cadangan air bagi sumber air sungai. Oleh karena itu, hutan yang terjaga dengan baik akan memberikan manfaat berupa ketersediaan sumber-sumber air pada musim kemarau. Sebaliknya, hutan yang gundul akan menjadi malapetaka bagi penduduk di hulu maupun di hilir. Pada musim hujan, air hujan yang jatuh di atas lahan yang gundul akan menggerus tanah yang kemiringannya tinggi.

3. Pengalihan Hutan Menjadi Lahan Pertanian

Resiko penebangan hutan untuk dijadikan lahan pertanian sama besarnya dengan pengundulan hutan. Penurunan debit air sungai dapat terjadi akibat erosi. Kebanyakan kawasan hutan yang diubah menjadi lahan pertanian mempunyai kemiringan di atas 25%, sehingga bila tidak memperhatikan faktor konservasi tanah, seperti pengaturan pola tanam, pembuatan teras dan lain-lain.

4. Intersepsi

Intersepsi adalah proses ketika air hujan jatuh pada permukaan vegetasi di atas permukaan tanah, tertahan beberapa saat, untuk diuapkan kembali (hilang) ke atmosfer atau diserap oleh vegetasi yang bersangkutan. Proses intersepsi terjadi selama berlangsungnya curah hujan dan setelah hujan berhenti. Setiap kali hujan jatuh di daerah bervegetasi, ada sebagian air yang tak pernah mencapai permukaan tanah dan dengan demikian, meskipun intersepsi dianggap bukan faktor penting dalam penentu faktor debit air, pengelola daerah aliran sungai harus tetap memperhitungkan besarnya intersepsi karena jumlah air yang hilang sebagai air intersepsi dapat mempengaruhi neraca air regional.

5. Evaporasi dan Transpirasi

Evaporasi transpirasi juga merupakan salah satu komponen atau kelompok yang dapat menentukan besar kecilnya debit air di suatu kawasan DAS, mengapa dikatakan salah satu komponen penentu debit air, karena melalui kedua proses ini dapat membuat air baru, sebab kedua proses ini menguapkan air dari permukaan air, tanah dan permukaan daun, serta cabang tanaman sehingga membentuk uap air di udara dengan adanya uap air di udara, maka akan terjadi hujan. Dengan adanya hujan, maka debit air di DAS akan bertambah juga. Debit aliran dapat dijadikan sebuah alat untuk memonitor dan

mengevaluasi neraca air suatu kawasan melalui pendekatan potensi sumber daya air permukaan.

2.8 Kecepatan Aliran

Beberapa teori mengatakan bahwa, kecepatan aliran merupakan perbandingan debit aliran dengan lebar saluran kali kedalaman air pada saluran. Kecepatan aliran di hilir setelah loncat air dapat dihitung dengan rumus:

$$V = \frac{Q}{B \cdot y}$$

dengan:

V = kecepatan aliran (cm/det)

Q = debit aliran (cm³/dt)

B = lebar saluran (cm)

y = tinggi air setelah loncat air

(cm)

Namun menurut Bambang Triatmojo, kecepatan aliran dapat didefinisikan sebagai besarnya debit aliran yang mengalir per satuan luas. Atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V = \frac{Q}{A}$$

dengan : V = kecepatan aliran (m)

Q = debit aliran (m³/det)

A = luas penampang (m²)

Pada prinsipnya kecepatan aliran dapat diukur dengan tiga metode, yaitu:

1. Metode Apung
2. Metode current-meter/flow-meter
3. Tabung Pitot

2.8.1 Pengukuran Kecepatan dengan Metode Apung

Prinsipnya pengukuran kecepatan metode apung adalah kecepatan aliran (U) ditetapkan berdasarkan kecepatan pelampung (U). atau dapat dengan rumusan berikut

$$U = \frac{U_p}{L}$$

dengan : U_p = kecepatan pelampung (m/dtk)

L = sepanjang waktu atau jarak yang diteliti

Berikut ini disajikan gambar jenis-jenis pelampung:

Dimana: kedalaman tangkai (h) per kedalaman air, (d) yaitu kedalaman bagian pelampung yang tenggelam dibagi kedalaman air.

2.8.2 Pengukuran Kecepatan dengan Metode Current-meter/Flow-meter

Ada dua tipe current-meter yaitu tipe baling-baling (*propeller type*) dan tipe canting (*cup type*). Oleh karena distribusi kecepatan aliran di sungai tidak sama baik arah vertical maupun horizontal, maka pengukuran kecepatan aliran dengan alat ini tidak cukup pada satu titik.

Pada penelitian ini kecepatan aliran akan diukur dengan menggunakan metode currentmeter/flowmeter. Prinsip pengukuran kecepatan pada metode ini yaitu, currentmeter/flowmeter diturunkan ke dalam aliran air dengan kecepatan penurunan yang konstan dari permukaan dan setelah mencapai dasar sungai diangkat lagi ke atas dengan kecepatan yang sama.

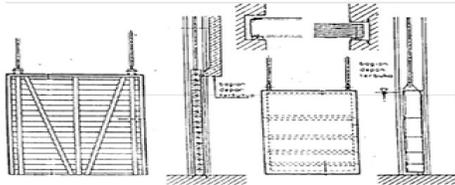
2.8.3 Pengukuran Kecepatan dengan Tabung Pitot

Alat ukur kecepatan lainnya adalah menggunakan tabung pitot, atau menggunakan penggaris penahan tinggi tekanan. Tinggi kenaikan muka air pada tabung pitot atau pada penggaris adalah tinggi tekanan akibat kecepatan (h). Untuk mengukur nilai h, tabung pitot diletakkan berlawanan dengan arah aliran pada aliran air bagian permukaan.

2.9 Pintu Air Tegak (Sluice Gate)

Pintu air tegak atau sering disebut pintu sorong (*sluice gate*) merupakan bangunan hidrolis yang sering digunakan untuk mengatur debit intake pada embung

atau di saluran irigasi. Di dalam sistem saluran irigasi, pintu sorong biasanya ditempatkan pada bagian pengambilan dan bangunan bagi sadap balk itu sekunder maupun tersier. Selain itu, alat ini juga dapat digunakan pada industri misalnya di saluran pengolahan atau pembuangan. Detail pintu ini di saluran dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.12. Pintu Sorong (Dep.PU)

Bangunan pengatur debit ini sering digunakan karena kemudahan perencanaan dan pengoperasiannya. Dengan tinggi bukaan pintu tertentu maka akan didapatkan debit yang dimaksud. Dengan demikian variasi bukaan pintu akan mempengaruhi debit aliran di bagian hilir.

Aliran yang mengalir di bawah pintu sorong dimulai dari fungsi superkritis penuh ($F > 1$) sampai pada bagian vena contracta dan dilanjutkan pada aliran berkembang sampai pada aliran menjadi stabil ($F < 1$). Pada kondisi aliran kritis ($F_r = 1$) kedalamannya merupakan kedalaman kritis.

III. METODE PENELITIAN

Adapun penelitian yang dilakukan ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Tahapan-tahapan sebagai berikut:

3.5.1 Persiapan

Setelah perencanaan rampung, maka proses percobaan pun perlu dilakukan. Namun demikian, persiapan sebelum melakukan proses percobaan sangat perlu diperhatikan. Persiapan dalam penelitian ini meliputi persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan, pengecekan alat-alat yang digunakan dalam pelaksanaan percobaan,

serta menyiapkan beberapa personal untuk membantu pelaksanaan percobaan.

3.5.2 Pelaksanaan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian/proses percobaan, kegiatan observasi secara berkala sangat diperlukan. Observasi harus dilakukan secara teliti. Adanya perbedaan dari tiap percobaan harus dicatat dalam buku catatan atau lembar khusus untuk mencatat tiap data yang diperoleh. Dari hal umum tersebut, pelaksanaan penelitian yang dilakukan peneliti di dalam laboratorium terdiri dari beberapa kegiatan berikut:

1. Mengatur dan menghitung debit aliran.
2. Mengatur tinggi bukaan pintu tegak.
3. Mengetahui tinggi muka air di hilir saluran penampang.
4. Menghitung kecepatan aliran, yaitu dengan rumus $V = L/U$.
5. Menganalisa loncatan air yang terjadi di hilir.
6. Menghitung nilai Froude.

Setelah menemukan data-data yang diperoleh, kemudian dicatat, dan diisi ke dalam blangko/tabel yang telah dibuat.

3.5.3 Pencatatan Data

Data-data yang dicatat dalam penelitian ini dibedakan dalam dua jenis, yaitu data sebelum percobaan dan data selama percobaan berlangsung. Data-data tersebut meliputi;

- A. Data sebelum percobaan, yaitu dimensi saluran, panjang 15 cm, lebar 400 cm, tinggi 24 cm.
- B. Data selama percobaan berlangsung, diantaranya:
 1. Debit aliran
 2. Tinggi bukaan pintu tegak
 3. Kecepatan aliran
 4. Nilai bilangan Froude.

Setelah data-data tersebut dicatat dan diisikan ke dalam tabel yang telah dibuat, lalu

dikoreksi/diperiksa, kemudian dilakukan analisis data

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.2. Perhitungan Nilai Bilangan Froude Dengan Variasi Bukaannya Pintu

A. Percobaan 1

Perhitungan bilangan Froude untuk debit 0,771 liter/detik pada percobaan 1 sebagai berikut:

Kecepatan :

$$V = \frac{L}{U \text{ rata-rata}} = \frac{100}{2,67}$$

$$= 37.500 \text{ cm/det}$$

Bilangan Froude :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h''}} = \frac{37,500}{\sqrt{981,2 \cdot 10}} = \frac{37,500}{45,388} = 0,826$$

Untuk hasil selengkapnya dari perhitungan percobaan ke - 1 dengan debit yang sama, disajikan dalam tabel 4.2. Dari pelaksanaan percobaan dengan debit 0,771 liter/detik didapatkan data hubungan antara bukaan pintu tegak dengan besaran nilai Bilangan Froude di bagian hilir saluran.

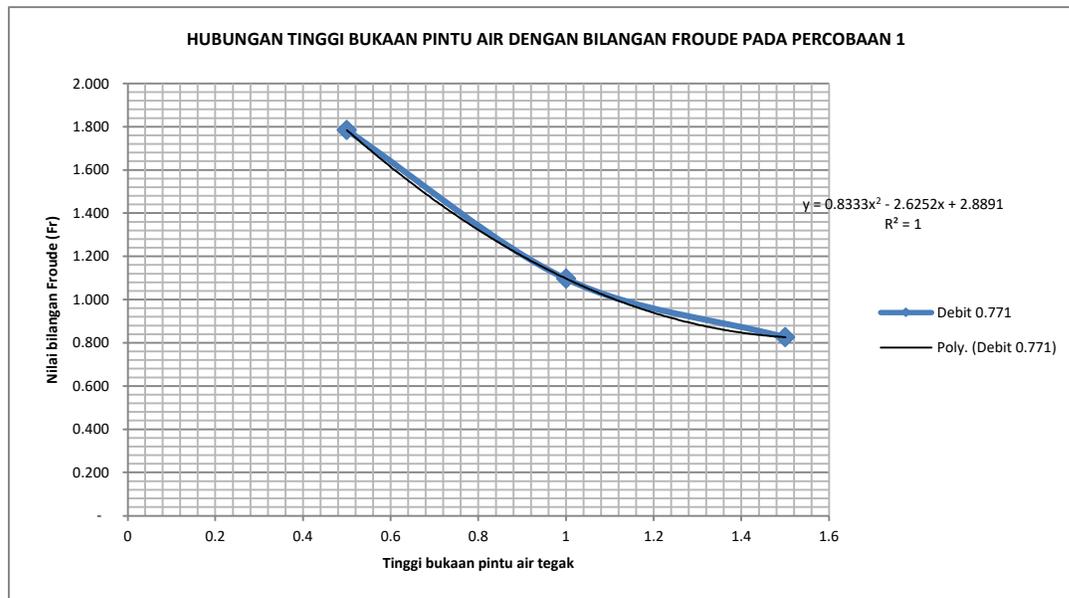
Tabel 4.2. Hubungan tinggi bukaan pintu air terhadap nilai Bilangan Froude dengan debit 0,771 liter/detik.

Notasi	Satuan	1	2	3
α	Cm	1.5	1	0.5
Lj	Cm	9.7	124	140
Notasi	Satuan	1	2	3
U ₁	Det	2.7	0.6	0.4
U ₂	Det	2.7	0.6	0.4
U ₃	Det	2.6	0.7	0.4
U rata-rata	Det	2.67	0.63	0.40
L	Cm	100	30	30
V (L / U)	cm/det	37.500	47.368	75.000
h	Cm	2.10	4.50	19.00
h''	Cm	2.10	1.90	1.80
g	Cm/det ²	981	981	981
Fr		0.826	1.097	1.785
Jenis aliran		subkritis	superkritis	Superkritis

Sumber : Hasil Perhitungan

Jika dengan debit 0,771 liter/detik pada bukaan pintu air 1,5 cm, didapat nilai bilangan Froude kurang dari 1 (Fr<1). Maka aliran yang terjadi adalah aliran subkritis, sedangkan pada tinggi bukaan pintu air 0,5 dan 1 cm didapatkan besar nilai bilangan Froude lebih dari 1 (Fr>1). sehingga aliran yang terjadi adalah aliran super kritis.

Gambar 4.1. Grafik hubungan tinggi bukaan pintu air terhadap nilai Bilangan Froude pada debit 0,771 Liter/detik



4.3. Hubungan Bilangan Reynold Dengan Variasi Bukaan Pintu

A. Percobaan 1

Perhitungan Bilangan Reynold untuk debit 0,771 liter/detik pada percobaan 1 sebagai berikut:

Kecepatan :

$$V = \frac{L}{\text{Urata-rata}} = \frac{100}{2,67} = 37.500 \text{ cm/det}$$

Jari – jari hidraulik :

$$R = \frac{A}{P} = \frac{31,50}{19,20} = 1,64 \text{ cm}$$

Penampang basah: $A = b \times h$

$$= 15 \times 2,10 = 31,50 \text{ cm}$$

$$\text{Keliling basah : } P = b + 2h = 15 + 2 \times 2,10 = 19,20 \text{ cm}$$

Kekentalan kinematik:

$$\begin{aligned} \nu &= 1,792 \times 10^{-6} \left(1 + \left[\frac{T}{25} \right]^{1,165} \right)^{-1} \\ &= 1,792 \times 10^{-6} \left(1 + \left[\frac{20}{25} \right]^{1,165} \right)^{-1} \\ &= 1,01 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

Bilangan Reynold :

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{V \cdot R}{\nu} \\ &= \frac{0.375 \times 0.02}{1.01 \times 10^{-6}} \\ &= \frac{0.00000101}{1.01 \times 10^{-6}} \\ &= 6,091.43 \end{aligned}$$

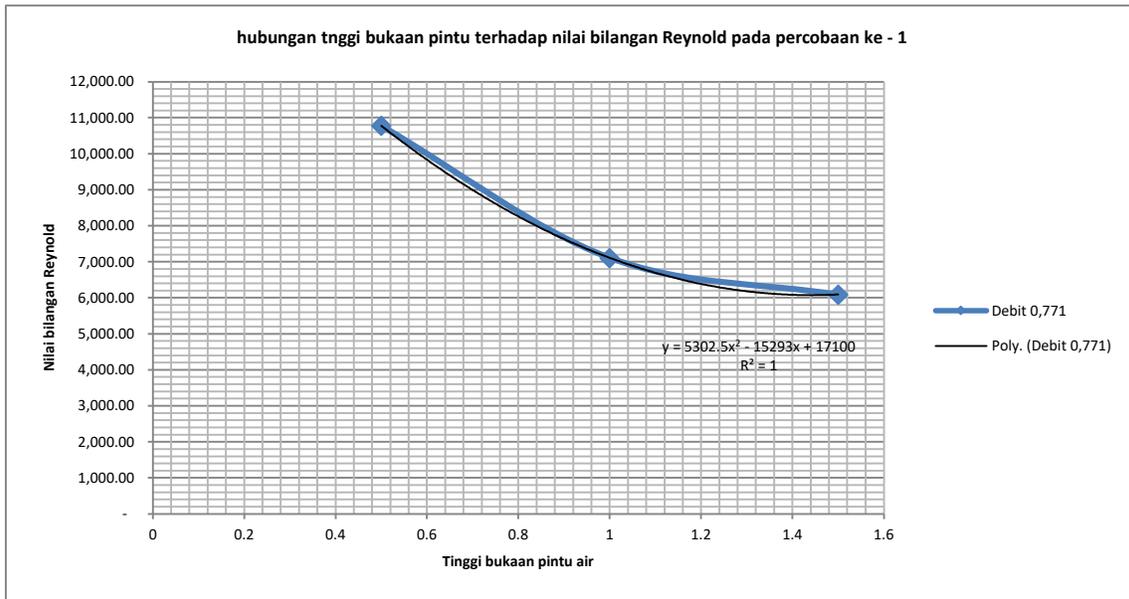
Hasil selengkapnya dari perhitungan percobaan ke - 1 dengan debit yang sama disajikan dalam tabel 4.5. Dari pelaksanaan percobaan dengan debit 0,771 liter/detik didapatkan hasil hubungan antara bukaan pintu tegak dengan besaran nilai Bilangan Reynold di bagian hilir saluran.

Tabel 4.5. Hubungan tinggi bukaan pintu air terhadap nilai Bilangan Reynold dengan debit 0,771 liter/detik.

Notasi	Satuan	1	2	3
b	cm	15	15	15
a	cm	1.5	1	0.5
U ₁	det	2.7	0.6	0.4
U ₂	det	2.700	0.600	0.400
U ₃	det	2.600	0.700	0.400
U rata-rata	det	2.667	0.633	0.400
L	cm	100.000	30.000	30.000
V (L / U)	cm/det	37.500	47.368	75.000
v	m	0.375	0.474	0.750
h	cm	2.100	4.500	19.000
a	cm	31.500	28.500	27.000
h''	cm	2.100	1.900	1.800
p	cm	19.200	18.800	18.600
R	cm	1.641	1.516	1.452
R	m	0.016	0.015	0.015
vis	m ² /det	0.00000101	0.00000101	0.00000101
vis	cm ² /det	0.0101	0.0101	0.0101
Rn		6,091.43	7,109.75	10,779.30
		Turbulen	Turbulen	Turbulen

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil percobaan diatas maka diketahui besar nilai Bilangan Reynold dipengaruhi oleh tinggi bukaan pintu, semakin besar tinggi bukaan pintu maka Bilangan Reynold semakin besar dan dari ketiga percobaan diatas diperoleh aliran Turbulen karena $Rn > 4000$.



Gambar 4.4. Grafik hubungan tinggi bukaan pintu air terhadap nilai Bilangan Reynold pada debit 0,771 Liter/detik

4.4. Analisa loncatan hidraulik pada variasi bukaan pintu air

A. Percobaan 1

Perhitungan Panjang Loncatan Hidrolik untuk debit 0,771 liter/detik pada percobaan 1 sebagai berikut:
Tinggi air di hilir :

$$\begin{aligned}
 h_2 &= \frac{h_1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1) \\
 &= \frac{1,4}{2} (\sqrt{1 + 8 \times 1,309^2} - 1) \\
 &= 2,591 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= h_2 - h_1 \\
 &= 2,591 - 1,4 \\
 &= 1,191 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Untuk panjang loncatan (Lj) tidak ada rumus teoritis, dan untuk saluran penampang segi empat memakai perhitungan 5 – 7 kali tinggi loncatan (Hj).

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi : } L_j &= n \times H_j \\
 &= (5 \text{ s/d } 7) \times 1,191 \text{ cm} \\
 &= (5,95 \text{ s/d } 8,3) \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Hasil dari pengamatan dilapangan disajikan pada tabel 4.8. percobaan ke – 1 menunjukkan hubungan tinggi dan panjang loncatan Hidrolik dengan tinggi bukaan pintu.

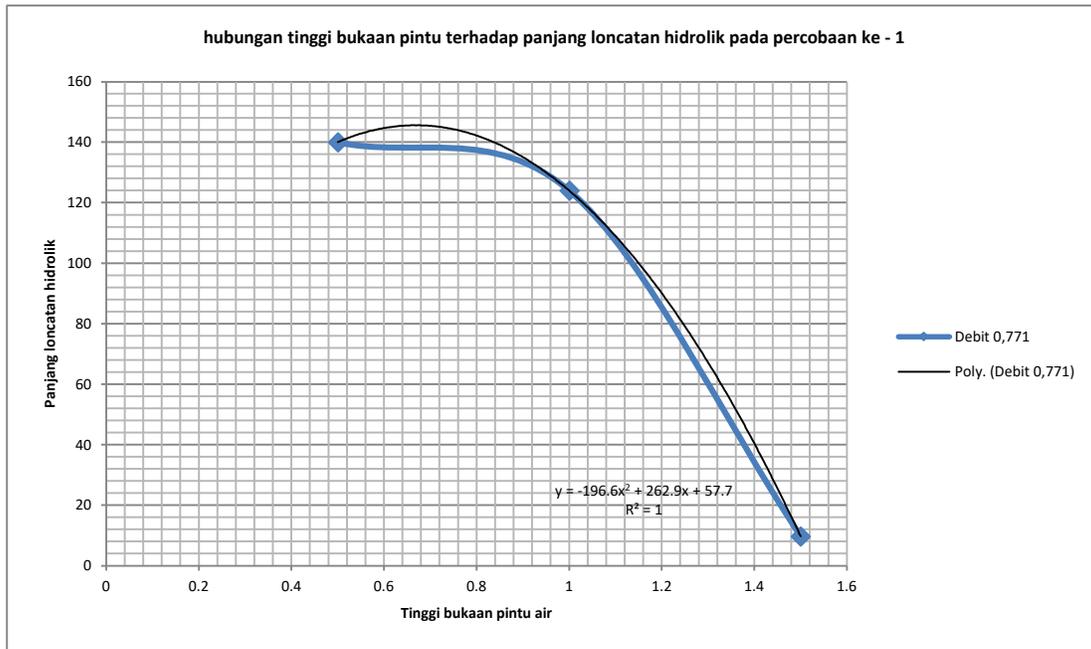
Tinggi loncatan : Hj

Tabel 4.8. Hubungan tinggi bukaan pintu air terhadap Loncatan Hidraulik pada percobaan ke – 1.

notasi	satuan	1	2	3
a	cm	1.50	1	0.50
U_1	cm	0.20	1.60	1.40
U_2	cm	0.20	1.50	1.40
U_3	cm	0.20	1.50	1.40
Urata-rata	cm	0.20	1.53	1.40
h hulu	cm	1.400	0.900	0.400
h hilir (lab)	cm	2.10	1.90	1.80
h hilir (teori)	cm	2.59	3.46	2.86
selisih h	cm	0.491	(1.564)	(1.056)
h_2-h_1 (teori)	cm	1.191	2.564	2.456
h_j lab	cm	2.400	2.900	2.300
selisih h_j	cm	(1.209)	(0.336)	0.156
Notasi	Satuan	1	2	3
L_a	cm	9.700	124.000	140.000
L_j lab	cm	6	8	11
L_j min (teori)	cm	5.956	12.820	12.278
L_j maks (teori)	cm	8.338	17.949	17.490

Sumber : hasil perhitungan

Dari percobaan ke – 1 didapat grafik yang menunjukkan hubungan tinggi bukaan pintu air dengan panjang loncatan hidrolik.



Gambar 4.7. Grafik hubungan tinggi bukaan pintu air terhadap Panjang Loncatan Hidrolik pada percobaan ke – 1 dengan variasi bukaan pintu.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan melalui percobaan dengan variasi debit aliran dan beda tinggi bukaan pintu, serta hasil analisa yang telah dilakukan dari bab sebelumnya, diperoleh kesimpulan seperti berikut.

1. Dengan variasi debit 0.771, 0.729, dan 0.692 liter/detik dengan tinggi bukaan pintu 0.5, 1, dan 1.5 diketahui bahwa semakin tinggi bukaan pintu air maka nilai Bilangan Froude semakin kecil dan semakin rendah tinggi bukaan pintu air maka Bilangan Froude semakin besar.
2. Dengan variasi debit 0.771, dan 0.692 liter/detik dengan tinggi bukaan pintu 0.5, 1, dan 1.5 diketahui bahwa semakin tinggi

bukaan pintu air maka nilai Bilangan Reynold semakin kecil dan semakin rendah tinggi bukaan pintu air maka Bilangan Reynold semakin besar.

3. Loncatan air setelah bukaan pintu juga dipengaruhi oleh besaran debit dan tinggi bukaan pintu, dengan panjang maksimum diperoleh 140 cm.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka peneliti kemukakan saran-saran sebagai berikut:

1. Agar lebih akurat peneliti dianjurkan untuk memakai current meter
2. Diharapkan dimasa mendatang peneliti tidak hanya meneliti dengan bukaan pitu *sluice gate*, tetapi juga menggunakan pintu air *under sluice*

3. Selain dilakukan pada saluran penampang segi empat juga diharapkan ada peneliti lain yang melakukan penelitian serupa dengan menggunakan saluran penampang trapesium dan saluran yang menyempit.
4. Untuk pengkajian yang lebih mendalam terhadap fenomena loncatan air bagi kepentingan perencanaan berbagai bangunan hidrolis, maka perlu dilakukan penelitian terhadap bangunan prototype sesuai kondisi riil dan aktual di lapangan.
5. Universitas Muhammadiyah Jember, khususnya di laboratorium Teknik Sipil hendaknya menyediakan alat-alat yang lebih lengkap dan memadai agar semua penelitian dapat berjalan dengan optimal.
6. Minimnya alat yang digunakan pada penelitian ini mengakibatkan kurang akuratnya data yang diperoleh, oleh sebab itu dimasa mendatang diharapkan penelitian dilakukan dengan alat yang lebih akurat lagi terutama pada pengaturan debit dan pengukuran tinggi serta panjang aliran.
7. Data percobaan yang dilakukan adalah 27 kali dengan variasi debit 0.771, 0.729, dan 0.692 liter/detik dengan tinggi bukaan pintu 0.5, 1, dan 1.5 cm. Diambil sampel 9 data dengan debit dan bukaan pintu seperti diatas. Dari semua percobaan, kelemahan yang timbul adalah kurangnya akurasi data debit karena

peralatan yang digunakan masih terbilang minim oleh sebab itu masih terjadi ketidak akuratan data yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Andar, Jhonson dan Paulus N. 2007. *Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 2*. Majalah tidak Diterbitkan. Yogyakarta: UKRIM Yogyakarta.
2. Aji, Ign. Sutyas dan Kris Darmadi. 2007. *Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 1*. Majalah tidak Diterbitkan. Yogyakarta: UKRIM Yogyakarta
3. Arikunto, Suharsimi. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik (Edisi Revisi VI)*. Jakarta: Rineka Cipta.
4. Daties, Yuni Cahya S. 2012. *Kajian Perubahan Pola Gerusan pada Tikungan Sungai akibat Penambahan Debit*. Skripsi tidak Diterbitkan. Makassar: Universitas Hasanudin.
5. Nazir, Moh. 2003. *Metode Penelitian*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
6. Pudyono, Sunik. 2013. *Jurnal Rekayasa Sipil Volume 2*. Jurnal tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Brawijaya.
7. Qomar, Syeh. 2003. *Gerusan Lokal Dasar Saluran Pada Bukaan di Hilir Pintu Sorong*. Tesis tidak Diterbitkan. Semarang: Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.
8. Tim Pengajar Jurusan Teknik Sipil. 2009. *Karakteristik Aliran Kritis Pada Pintu Sorong Dinamika Teknik Sipil*. Jurnal tidak Diterbitkan. Kupang: Politeknik Negeri Kupang.
9. Esminarni, Diah. 2011. *Laporan Praktikum Hidrologi Lingkungan*. (online). (<https://envirogirls.wordpress.com/2011/05/19/pengukuran-debit-aliran-permukaan/>, diakses 15 April 2015).
10. Wandy. 2012. *Debit Aliran Air Sungai*. (online). (<http://wandycivilengineering.blogspot>).

- [com/2012/10/debit-aliran-air-sungai.html](http://catetankuliah.blogspot.com/2012/10/debit-aliran-air-sungai.html), diakses 15 April 2015).
11. Laporan Praktikum Debit Aliran. (online) (<http://catetankuliah.blogspot.com/2009/05/laporan-praktikum-persamaan-bernaulli.html>, diakses 15 April 2015)
 12. <http://www.gobookee.org/ebook/dampak-penyempitan-penampang-sungai-terhadap-kondisi-aliran-kcsm2p/> (diakses 10 Januari 2015).
 13. <http://www.gobookee.org/ebook/hidrolika-terapan-sal-terbuka-enungkasyantomox5j/> (diakses 10 Januari 2015).
 14. <http://www.gobookee.org/ebook/bab-v-bem1nt/> (diakses 10 Januari 2015).
 15. <http://www.gobookee.org/ebook/08-hidrolik-bendung-universitas-mercu-buana-jakarta-nnpwf4/> (diakses 10 Januari 2015).