

ANALISIS PENGARUH VARIASI JUMLAH ANAK TANGGA AMBANG BERTANGGA TERHADAP PANJANG LONCATAN AIR (UJI MODEL FISIK)

Ibnu Zaid Nata¹, Sriliani Surbakti², Nenny Roostrianawaty³

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang

²⁾³⁾ Dosen Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang

Email : ibnunata12@gmail.com

ABSTRACT

A spillway is a type of water building that can be used to raise the surface of the water as well as determine the flow flow. The spillway will lead to the occurrence of water collapse due to the difference in height of the hole and the distancing of the canal. Excessive flow speed can result in a hydraulic jump. Hydraulic jump in the canal occurs when the flows through steep surfaces or very high water speeds, and there is a significant decrease in pressure in the flow of water. The aim of this study was to find out the influence of the variation of the number of stairs on the spillway of the rocky type on the length of the water jump. The research was conducted at the Basic Hydraulics Laboratory of the Engineering Faculty of Irrigation Engineering of Brawijaya Malang University. This study used an open flume device of 7.9 cm x 29 cm x 800 cm. The study used a model of a spillway with a width of 7.9 cm x 10 cm x 100 cm and a staircase with 3 variations of the number of stairs with the size of the staircases on the stairs of the variation of 1.7,9 cm x 5 cm x 5 cm, the staircases of the variant of 2.7,9cm x 3.3 cm x 3.3, the staircases variation 3 7.9cm x 2.5 cm x 2.5 cm. Running 5 times on each model with variations in the depth of the flow in the heels of the thresht is 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, and 5 cm. The results of the study show the conclusion, namely: The sequence of variations of spillway having the length of the water jump value from the shortest is Variation 1 Stepped spillway with average water jump length (Lj) of 51.12 cm, Wide spillway with average water jump length (LJ) of 52.60 cm, Variation 2 Stepped spillway with average water jump length (Lj), 57.72 cm, variation 3 Stepped spillway with average water jump length (Lj), 58.40 cm.

Key words: Spillway, Stepped spillway, Long water jump.

Ambang adalah salah satu jenis bangunan air yang dapat digunakan untuk menaikkan tinggi muka air serta menentukan debit aliran. Ambang akan menyebabkan terjadinya terjunan air akibat beda tinggi hulu dan hilir saluran. Laju aliran yang terlalu besar dapat mengakibatkan loncatan hidrolik. Loncatan hidrolik pada saluran terjadi ketika aliran mengalir melalui permukaan yang curam atau kecepatan air yang sangat tinggi, dan terjadi penurunan tekanan yang signifikan pada aliran air. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah anak tangga pada ambang tipe bertangga terhadap panjang loncatan air. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidraulika Dasar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang. Penelitian ini menggunakan alat open flume berukuran 7,9 cm x 29 cm x 800 cm. Penelitian ini menggunakan model ambang lebar berukuran 7,9 cm x 10 cm x 100 cm dan ambang bertangga yang dengan 3 jenis variasi jumlah anak tangga dengan ukuran peranak tangga pada ambang bertangga variasi 1 7,9 cm x 5 cm x 5 cm, ambang bertangga variasi 2 7,9 cm x 3,3 cm x 3,3 cm, ambang bertangga variasi 3 7,9 cm x 2,5 cm x 2,5 cm. Dilakukan running 5 kali pada setiap modelnya dengan variasi kedalaman aliran di hulu atas ambang yaitu 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, dan 5 cm. Kemudian dilakukan pengukuran kedalaman aliran air di atas ambang, sebelum terjunan, sebelum loncatan air, dan di hilir ambang. Hasil penelitian menunjukkan kesimpulan, yaitu: Urutan variasi ambang yang memiliki nilai panjang loncatan air dari paling pendek adalah Ambang Bertangga Variasi 1 dengan panjang loncatan air (Lj) rata-rata 51,12 cm, Ambang Lebar dengan panjang loncatan air (Lj) rata-rata 57,60 cm, Ambang Bertangga Variasi 2 dengan panjang loncatan air (Lj) rata-rata 57,72 cm, Ambang Bertangga Variasi 3 dengan panjang loncatan air (Lj) rata-rata 58,40 cm.

Kata kunci : Ambang, Ambang bertangga, Panjang loncatan air.

PENDAHULUAN

Ambang adalah salah satu jenis bangunan air yang dapat digunakan untuk menaikkan tinggi muka air serta menentukan debit aliran air. Ambang akan menyebabkan beberapa karakteristik aliran air. Aliran air pada bagian hulu ambang akan terbendung yang biasanya bersifat *subkritis* tetapi setelah aliran melewati ambang karakteristik aliran akan berubah menjadi *superkritis*, dengan kondisi aliran ini cenderung memiliki kedalaman yang rendah dan kecepatan aliran relatif cepat.

Ambang akan menyebabkan terjadinya terjunan air akibat beda tinggi hulu dan hilir. Laju aliran yang terlalu besar dapat mengakibatkan loncatan hidrolis. Loncatan hidrolis pada saluran terjadi ketika aliran air mengalir melalui permukaan yang curam atau kecepatan air yang sangat tinggi, dan terjadi penurunan tekanan yang signifikan pada aliran air. Dampak loncatan hidrolis pada saluran antara lain dapat menyebabkan kerusakan seperti korosi pada dinding saluran dan erosi pada permukaan saluran yang dapat membuat hilangnya vegetasi disekitarnya sehingga mempengaruhi habitat alami bagi hewan dan tumbuhan yang hidup disekitarnya.

Ambang bertangga menjadi salah satu bangunan air yang dapat digunakan untuk peredaman energi. Pada ambang bertangga, air mengalir melalui serangkaian anak tangga sehingga mengurangi kecepatan aliran air dan mencegah erosi pada dasar dan tepian sungai. Salah satu keuntungan ambang bertangga yaitu dapat mengurangi dimensi bangunan peredam energi karena bentuknya yang khusus, sehingga dapat mengurangi biaya konstruksi dan waktu proyek. (Krisnayanti & Dermawan, 2011). Pada bangunan ambang bertangga, jumlah anak tangga yang dipasang dapat mempengaruhi panjang loncatan air. Oleh karena itu, diperlukan analisis untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah anak tangga pada panjang loncatan air.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka kami tertarik untuk mengadakan penelitian dengan judul “**Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Anak Tangga Ambang Bertangga Terhadap Panjang Loncatan Air (Uji Model Fisik)**”.

TINJAUAN PUSTAKA

Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas. Menurut asalnya, saluran dapat digolongkan menjadi saluran alam (*natural*) dan saluran buatan (*artificial*). Aliran saluran terbuka dapat digolongkan berdasarkan perubahan kedalaman aliran sesuai dengan waktu dan

ruang. (Chow, 1959). Kategori aliran apabila dilihat berdasarkan karakteristik waktu yaitu :

- Aliran tunak (*Steady Flow*) adalah kondisi dimana kedalaman aliran tidak berubah selama suatu selang waktu tertentu.
- Aliran taktunak (*Unsteady Flow*) adalah kondisi dimana kedalaman aliran berubah sesuai dengan waktu.

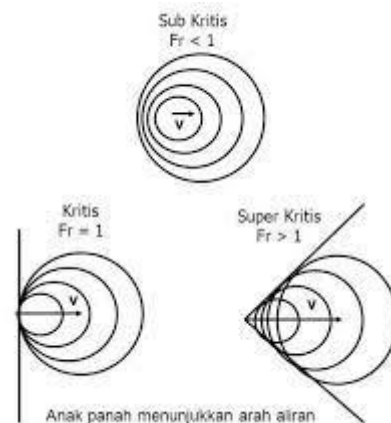
Kategori aliran apabila dilihat berdasarkan karakteristik ruang yaitu :

- Aliran seragam (*Uniform Flow*) adalah kondisi dimana kedalaman aliran tetap sama di sepanjang saluran.
- Aliran berubah (*Varied Flow*) adalah kondisi dimana kedalaman aliran berubah di sepanjang saluran.

Froude

Akibat gaya Tarik bumi terhadap keadaan aliran dinyatakan dengan rasio gaya inersia dengan gaya tarik bumi (g). Rasio ini ditetapkan sebagai bilangan *Froude* (Fr). (Chow, 1959). Bilangan *Froude* dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Aliran sub kritis apabila bilangan *Froude* lebih kecil dari satu ($Fr < 1$). Pada aliran ini biasanya kedalaman aliran lebih besar dari pada kecepatan aliran rendah, semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus.
- Aliran kritis apabila bilangan *Froude* memiliki nilai yang sama dengan satu ($Fr = 1$). Aliran mengalami gangguan permukaan sehingga menimbulkan gelombang yang lebih besar dari gaya berat atau gaya tarik bumi.
- Aliran super kritis apabila bilangan *Froude* lebih besar dari satu ($Fr > 1$). Pada aliran ini kedalaman aliran relatif lebih kecil dan kecepatan relative tinggi, riak yang timbul akibat suatu gangguan mengikuti arah arus.



Gambar 1. Pola Perambatan Penjalaran Gelombang di Saluran Terbuka
Sumber : (Chow, 1959)

Berikut persamaan bilangan *Froude* :

$$F = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D}}$$

Keterangan :

F = Bilangan *Froude*

V = Kecepatan aliran (m/dtk)

G = Percepatan gravitasi (m/dtk)

D = Kedalaman hidrolis saluran (m)

Reynolds

Bilangan *Reynolds* adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskositas.(Chow, 1959). Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran yang berbeda misalnya laminar, turbulen dan transisi dengan syarat karakteristik aliran yaitu :

Laminar : $Re < 2000$

Transisi : $2000 < Re < 4000$

Turbulen : $Re > 4000$

Rumus bilangan *Reynolds* sebagai berikut :

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu}$$

Keterangan :

Re = Bilangan *Reynolds*

V = Kecepatan aliran (m/dtk)

L = Panjang karakteristik aliran(m), pada saluran terbuka $L = R$

R = Jari-jari hidrolis saluran

ν = Kekentalan kinematik air (m²/dtk)

Debit Aliran

Menurut (Triatmodjo, 1993) Dalam buku Hidraulika 1,debit aliran sebagai fungsi dari kecepatan dan luas penampang basah, dinyatakan dalam volume per satuan waktu atau zat cair yang mengalir melewati tampang lintang tiap satu satuan waktu. Bila tampang lintang saluran tegak lurus dengan aliran adalah A (m²), maka debit aliran dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$Q = A \cdot V$$

Keterangan :

Q = Debit aliran (cm³/dtk)

A = Luas penampang aliran (cm²)

V = Kecepatan aliran (cm/dtk)

Loncatan Air

Loncatan air merupakan salah satu contoh aliran berubah cepat. Loncat air terjadi akibat pengaruh kecepatan aliran yang mempengaruhi panjang loncat air serta tinggi loncat air. Aliran *superkritis* pada saluran ,energi aliran akan diredam oleh hambatan gesek saluran, sehingga menyebabkan terjadinya pengurangan kecepatan dan penambahan ketinggian pada arah aliran.(Chow, 1959)

Suatu loncatan hidrolis akan berbentuk pada saluran, jika bilangan *Froude* aliran (F_1), kedalaman aliran (h_1) dan kedalaman hilir (h_2) memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1)$$

Ambang

Secara teoritis, ambang merupakan salah satu jenis bangunan air yang dapat digunakan untuk menaikkan tinggi muka air dan untuk menentukan debit aliran.(Triatmodjo, 1993). Bangunan ambang banyak digunakan dalam saluran terbuka dan berfungsi untuk mengendalikan tinggi muka air di bagian hulu serta dapat digunakan untuk mengukur debit aliran. Berdasarkan dua hal tersebut maka ambang dapat digunakan sebagai penghambat yang membantu terciptanya kondisi energy minimum dalam suatu aliran.

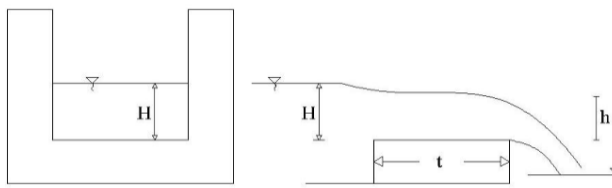
Salah satu jenis ambang yang sering digunakan dalam pengukuran karakteristik aliran yaitu ambang lebar. Alat ukur ambang lebar merupakan salah satu bangunan aliran atas atau biasa disebut *overflow*. Pada model ambang lebar ini, tinggi energi yang terdapat pada hulu aliran lebih kecil daripada panjang mercu itu sendiri. Syarat peluap dapat dikatan sebagai ambang lebar apabila :

$$t > 0,66 H$$

Keterangan :

t = Tebal Ambang

H = Tinggi muka air terhadap ambang



Gambar 2. Aliran Melalui Ambang Lebar

Sumber : (Triatmodjo, 1993)

Ambang Bertangga

Ambang bertangga merupakan modifikasi saluran peluncur dengan membuat beberapa tangga dari lokasi dekat puncak ambang sampai kaki di hilir ambang. Tujuan utama dari ambang bertangga adalah meningkatkan peredaman energi karena masuknya udara pada dasar aliran semu dan mengurangi kelebihan energi kinetik yang terjadi pada saluran luncur.

Pada ambang bertangga, kecepatan aliran berkurang karena peredaman yang diakibatkan oleh anak tangga. Tangga bertindak seperti bangunan terjun kecil yang ditempatkan secara berseri dan tiap tangga juga bertindak sebagai peredam energi kecil bagi tangga sebelumnya.

Salah satu keuntungan ambang bertangga yaitu dapat mengurangi dimensi bangunan peredam energi karena bentuknya yang khusus, sehingga dapat mengurangi biaya konstruksi dan waktu proyek. (Krisnayanti & Dermawan, 2011).

Faktor gesekan pada ambang bertangga mempengaruhi tingkat kehilangan energi. Semakin tinggi faktor gesekan, maka kecepatan aliran semakin berkurang. Kecepatan aliran yang berkurang mengakibatkan konsentrasi udara menurun. Konsentrasi udara pada aliran yang menurun akan mengakibatkan energi kinetik juga menurun. Energi kinetik yang menurun akan mengakibatkan peredaman energi yang lebih tinggi. Sehingga pengurangan resiko kavitasasi pada bendung bertangga dapat diatasi jika kecepatan yang melimpas pada saluran ambang bertangga adalah rendah.

Alat Ukur Debit V-notch

Alat ukur V-notch berbentuk segitiga sama kaki terbalik, dengan sudut puncak di bawah. Sudut puncak dapat merupakan sudut siku atau sudut lain, misalnya 60° atau 30° . Alat ukur Thompson sering digunakan untuk mengukur debit-debit yang kecil yaitu sekitar 200 lt/detik. Ambang pada alat ukur thompson merupakan suatu pelimpah sempurna yang melewati ambang tipis. (Ahmad, 2018)

Berdasarkan pada bentuk puncak peluap biasa berupa ambang tipis maupun lebar. peluap biasa disebut

ambang tipis bila tebal peluap $t < 0,5 H$ dan disebut ambang lebar. Apabila $0,5 H < t < 0,66 H$ keadaan aliran adalah tidak stabil dimana dapat terjadi kondisi aliran air melalui peluap ambang tipis atau ambang lebar. Gambar dibawah ini menunjukkan peluap segitiga, dimana air mengalir di atas peluap tersebut, tinggi peluapan adalah H dan sudut peluap segitiga adalah α Dari gambar tersebut lebar muka air adalah:

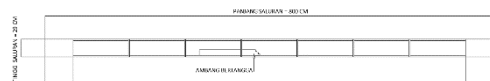
METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini bertempat di Laboratorium Hidraulika Dasar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang, penelitian dilakukan selama 2 bulan.

Model Saluran

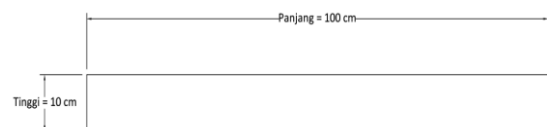
Pada penelitian ini menggunakan saluran flume yang berbentuk persegi panjang dengan lebar 7,9 cm, tinggi 29 cm, dan panjang percobaan 800 cm.



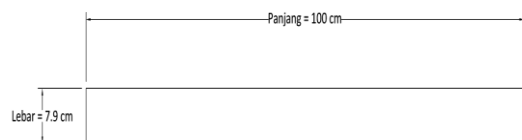
Gambar 3. Model flume berbentuk persegi panjang

Model Ambang Lebar

Penelitian ini menggunakan model ambang lebar dengan tinggi ambang 10 cm, panjang 100 cm, lebar 7,9 cm. Ambang diletakkan di tengah saluran.



Gambar 4. Model ambang lebar tampak samping



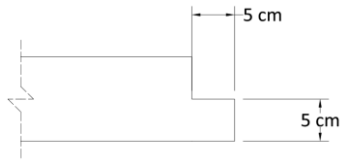
Gambar 5. Model ambang lebar tampak atas

Model Ambang Bertangga

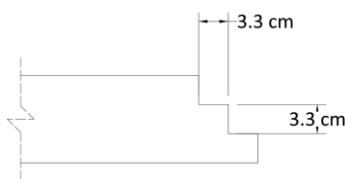
Penelitian ini menggunakan 3 variasi ambang berbentuk tangga dengan ukuran yang bervariasi di antaranya :

1. Ambang bertangga variasi 1 : tinggi anak tangga = 5 cm , panjang anak tangga = 5.

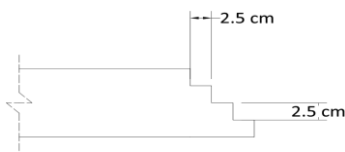
2. Ambang bertangga variasi 2 : tinggi anak tangga = 3,3 cm , panjang anak tangga = 3,3 cm.
3. Ambang bertangga variasi 3 : tinggi anak tangga = 2,5 cm , panjang anak tangga = 2,5 cm.



Gambar 6 Model Ambang Bertangga Variasi 1



Gambar 7. Model Ambang Bertangga Variasi 2



Gambar 8. Model Ambang Bertangga Variasi 3

Alat dan Bahan

Pada umumnya, alat, bahan, dan model penelitian yang digunakan dalam menunjang penelitian adalah sebagai berikut :

1. Alat yang digunakan pada penelitian ini :
 - a) *Pitot tube* untuk mengukur kecepatan air.
 - b) Ambang bertangga
 - c) Meteran
 - d) Mesin air digunakan untuk sirkulasi air
 - e) Kamera digital digunakan untuk merekam atau mengambil gambar pada saat melakukan proses penelitian.
 - f) Tabel data untuk mencatat data-data yang diukur.
 - g) Ember
 - h) Bak penampung air dan bak sirkulasi
 - i) Mistar
2. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini :
 - a) Air
 - b) Viber sebagai bahan ambang

Prosedur Penelitian

Kalibrasi Alat Ukur Debit

Langkah-langkah dalam melakukan proses kalibrasi alat ukur debit sebagai berikut :

1. Alat ukur debit yang digunakan untuk mengukur debit pengaliran, bisa berupa alat ukur debit ambang tajam (*Thompson/V-notch*).
2. Mengalirkan debit pada saluran percobaan sampai kondisi konstan, pengukuran dilakukan secara manual dengan menggunakan gelas ukur 100 ml dan *stopwatch handphone* penakaran dilakukan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan debit rata-rata.
3. Melakukan regresi dari hubungan antara data kedalaman aliran di ambang alat (yV) dengan data pengukuran ($QTakar$).
4. Penyelidikan koefisien debit (Cd) alat ukur debit *V-notch*, dengan tetap didasarkan pada data kedalaman aliran di ambang alat (yV) dan data pengukuran ($QTakar$)/
5. Kemudian gunakan rumus $Q = Cd \frac{8}{15} \sqrt{2gtan\gamma v^{5/2}}$.
6. Apabila data telah terkumpul maka mencari kesalahan relative dari alat ukur debit, kesalahan relative diusahakan tidak lebih 5%.
7. Apabila kesalahan relative kurang dari 5% maka alat ukur dapat digunakan.

Kalibrasi Alat Ukur Kecepatan

Langkah-langkah dalam melakukan proses kalibrasi alat ukur kecepatan sebagai berikut :

1. Pada bagian hulu ditempatkan point gauge untuk menetapkan tinggi muka air.
2. Mengukur tinggi muka air pada beberapa titik model hidrolika saluran terbuka dan memasang pitot tube. Kemudian ukur beda tinggi tekan yang terjadi pada pitot tube.
3. Ulangi langkah pertama dan kedua pada debit yang berbeda.
4. Apabila data telah terkumpul maka mencari kesalahan relative dari alat ukur kecepatan, kesalahan relative diusahakan tidak lebih dari 5%.
5. Apabila kesalahan relative kurang dari 5% maka alat ukur dapat digunakan.

Langkah Pengambilan Data

Dalam prosedur ini dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Hidupkan mesin air, atur ketinggian di hulu ambang dengan ketinggian 1 cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm.
2. Amati saat dimana air meluncur dari pelimpah bagaimana bentuk aliran dari meluncur sampai menuju ke hilir saluran.
3. Ukur kedalaman aliran pada hilir ambang dan kecepatan aliran di saat running.

- Lakukan proses pengambilan data pada setiap bangunan bentuk ambang bertangga.
- Mencatat data-data penelitian yang perlu di perhitungkan.
- Analisis data dari hasil pengamatan laboratorium yang telah dilakukan.

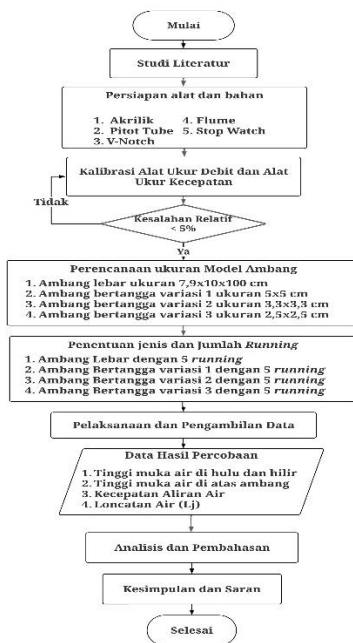
Metode Analisa Data

Data dari hasil pengamatan laboratorium kemudian diolah sebagai bahan analisis hasil kajian sesuai dengan tujuan dan sasaran penelitian. Data yang diolah adalah data yang relevan yang dapat mendukung dalam menganalisis hasil penelitian, antara lain :

- Data debit Q (m3/det)
- Kecepatan aliran (m/det)
- Bilangan Reynolds (Re)
- Bilangan Froude (Fr)

Flow Chart Penelitian

Analisis pengaruh variasi jumlah anak tangga Ambang bertangga terhadap panjang loncatan air, dapat dilakukan bagan alir penelitian sebagai berikut :



Gambar 9. Bagan Alir Penelitian Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Anak Tangga Ambang Bertangga Terhadap Panjang Loncatan Air

PEMBAHASAN

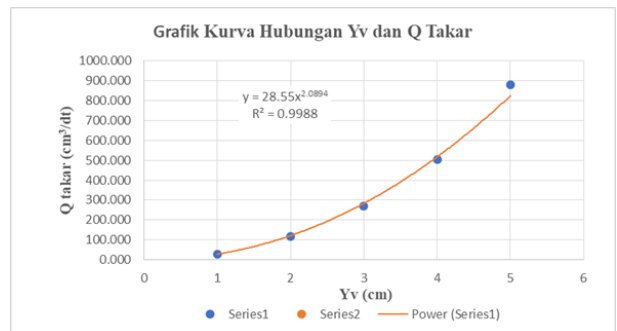
Kalibrasi Alat Ukur V-notch

Alat ukur debit yang digunakan di laboratorium, yang dibuat mengikuti standar alat ukur V-notch, dilakukan pemeriksaan kemampuan dan keandalannya dalam pengukuran debit aliran. Proses pemeriksaan tersebut dilakukan dengan cara :

- Melakukan regresi dari hubungan antara data kedalaman aliran di ambang alat (yv) dengan data pengukuran (Qtakar)
- Penyelidikan koefisien debit (Cd) alat ukur debit V-notch, dengan tetap didasarkan pada data kedalaman aliran di ambang alat (yv) dan data pengukuran (Qtakar).

Tabel 1. Data Pengambilan Qtakar

No	Yv (cm)	Qtakar (cm ³ /dt)	Q / (g ^{1/2} yv ^{5/2})
1	1	29.444	0.9402
2	2	118.889	0.6711
3	3	270.556	0.5542
4	4	503.333	0.5023
5	5	878.889	0.5021
Rata-Rata			0.6340



Gambar 10. Grafik Regresi (hubungan yv dan Qtakar)

Dari grafik regresi hubungan diatas dapat diketahui bahwa semakin tinggi kedalaman aliran di ambang alat V-notch semakin bertambah debit takar yang didapat. Dari regresi hubungan diatas didapat persamaan sebagai berikut :

$$Q = 28,55 y_v^{2,0894} \text{ (cm}^3/\text{dtk)}$$

Selanjutnya untuk penyelidikan koefisien debit (Cd) didapat persamaan :

$$Q = 20,077 y_v^{5/2} \text{ (cm}^3/\text{dtk)}$$

Perhitungan debit alat ukur V-notch dengan menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2, kemudian dibandingkan dengan hasil debit ukur (Qtakar) untuk memperoleh kesalahan relatif alat ukur V-notch (KR%), ditampilkan dalam Tabel.

Tabel 2. Perhitungan Kesalahan Relatif Alat Ukur Debit V-notch

No	Yv	Qtakar	Q pers.1	Q pers.2	KR pers.1	KR pers.2
	(cm)	(cm ³ /dt)	(cm ³ /dt)	(cm ³ /dt)	(%)	(%)
1	1.00	29.444	28.550	20.077	3.04	31.81
2	2.00	118.889	121.501	113.571	2.20	4.47
3	3.00	270.556	283.467	312.965	4.77	15.68
4	4.00	503.333	517.071	642.455	2.73	27.64
5	5.00	878.889	824.203	1122.323	6.22	27.70
Rata-Rata					3.79	21.46

Berdasarkan perhitungan pada Tabel di atas, didapatkan kesalahan relatif pengukuran alat ukur debit V-notch adalah sebesar 3,79% apabila menggunakan Persamaan (4-2) dan sebesar 21,47% apabila menggunakan persamaan (4-5).

Dengan kesalahan relatif pengukuran alat ukur debi V-notch yang kurang dari 10% pada persamaan (4-2), yang ditetapkan sebagai nilai toleransi kesalahan, maka persamaan (4-2) dapat digunakan dengan keandalan dan ketelitian pengukuran yang baik, lebih dari 90%.

Penentuan Debit Yang Digunakan

Menentukan debit pengaliran yang melewati ambang dengan kedalaman 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, dan 5 cm di hulu ambang (Yo) dan kedalaman aliran di ambang alat ukur V-notch dengan menggunakan persamaan 1, perhitungan secara rinci terdapat pada tabel berikut ini.

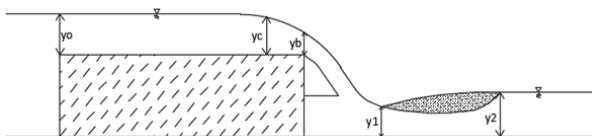
Tabel 3. Data debit pada penelitian

No	Yo	Yv	Q	
	(cm)	(cm)	(cm ³ /dt)	(l/dt)
1	1	2.15	141.320	0.141
2	2	3.90	490.429	0.490
3	3	5.30	930.911	0.931
4	4	6.30	1335.821	1.336
5	5	7.20	1765.699	1.766

Data debit di atas digunakan pada setiap variasi ambang yang digunakan pada penelitian ini.

Analisis Kecepatan Aliran dengan Variasi Debit

Analisis kecepatan aliran di sepanjang bendung menggunakan beberapa data yang sudah diperoleh pada saat melakukan pengujian di laboratorium yaitu data dari kedalaman aliran di ujung ambang bagian hulu (y0), kedalaman aliran di atas ambang (yc), kedalaman aliran di ujung ambang bagian hilir (yb), kedalaman aliran di titik jatuh air (y1), dan kedalaman aliran di hilir bendung (y2). Titik-titik pengamatan untuk data-data diatas dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 11. Letak kecepatan aliran di hulu atas ambang (yo), di atas ambang (yc), di hilir atas

ambang (yb), di titik jatuh air (y1), dan di hilir ambang (y2)

Untuk mengetahui kecepatan aliran pada penelitian ini menggunakan alat ukur kecepatan Pitot Tube. Perhitungan kecepatan aliran terdapat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. Kecepatan Aliran Pada Ambang Lebar

Variasi	No	Q	Yo	Yc	Yb	Y1	Y2	Vo	Vc	Vb	V1	V2
		(cm ³ /dt)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)	(cm/dt)	(cm/dt)	(cm/dt)
Ambang Lebar	1	141.320	0.2	0.3	0.5	0.8	0.2	19.81	24.26	31.32	39.61	19.81
	2	490.429	0.5	0.5	1.6	3.1	0.4	31.32	31.32	56.02	77.98	28.01
	3	930.911	1	1.2	2.7	5.7	0.5	44.29	48.51	72.77	105.73	31.32
	4	1335.821	1.1	1.8	3.9	7.7	0.7	46.45	59.42	87.46	122.89	37.05
	5	1765.699	1.2	2	4.6	8.6	0.9	48.51	62.63	94.98	129.87	42.01

Tabel 5. Kecepatan Aliran Pada Ambang Bertangga Variasi 1

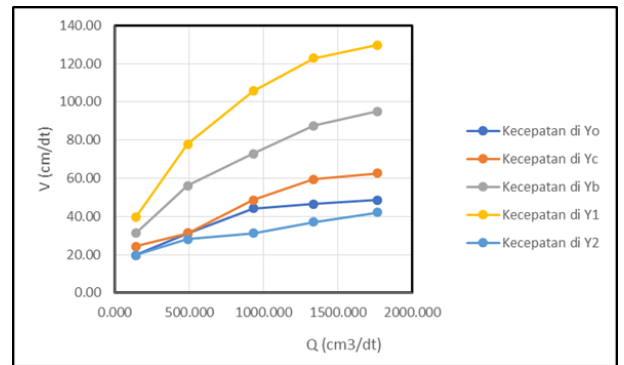
Variasi	No	Q	Yo	Yc	Yb	Y1	Y2	Vo	Vc	Vb	V1	V2
		(cm ³ /dt)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)	(cm/dt)	(cm/dt)	(cm/dt)
Tangga Variasi 1	1	141.3198	0.20	0.30	0.70	0.80	0.10	19.81	24.26	37.05	39.61	14.00
	2	490.4294	0.60	0.70	1.70	3.50	0.40	34.30	37.05	57.74	82.85	28.01
	3	930.9109	0.80	1.10	2.70	4.80	0.50	39.61	46.45	72.77	97.03	31.32
	4	1335.821	1.30	1.90	4.70	5.50	0.60	50.49	61.05	96.01	103.86	34.30
	5	1765.699	1.60	2.30	5.80	7.20	0.70	56.02	67.16	106.66	118.83	37.05

Tabel 6. Kecepatan Aliran Pada Ambang Bertangga Variasi 2

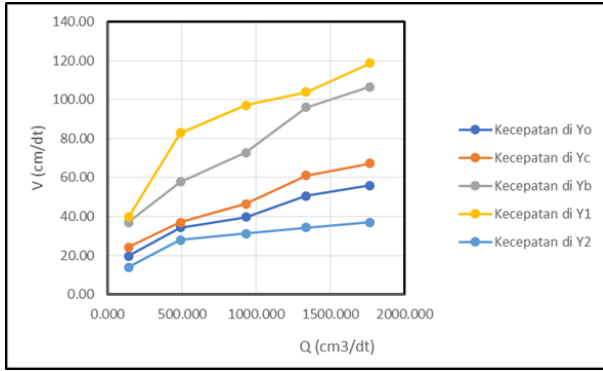
Variasi	No	Q	Yo	Yc	Yb	Y1	Y2	Vo	Vc	Vb	V1	V2
		(cm ³ /dt)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)	(cm/dt)	(cm/dt)	(cm/dt)
Tangga Variasi 2	1	141.3198	0.20	0.30	0.60	1.40	0.10	19.81	24.26	34.30	52.40	14.00
	2	490.4294	0.40	0.80	1.60	2.30	0.30	28.01	39.61	56.02	67.16	24.26
	3	930.9109	0.80	1.50	3.00	5.10	0.50	39.61	54.24	76.71	100.01	31.32
	4	1335.821	1.50	1.90	4.50	7.10	0.60	54.24	61.05	93.95	118.01	34.30
	5	1765.699	1.80	2.50	4.90	9.40	0.80	59.42	70.02	98.03	135.78	39.61

Tabel 7. Kecepatan Aliran Pada Ambang Bertangga Variasi 3

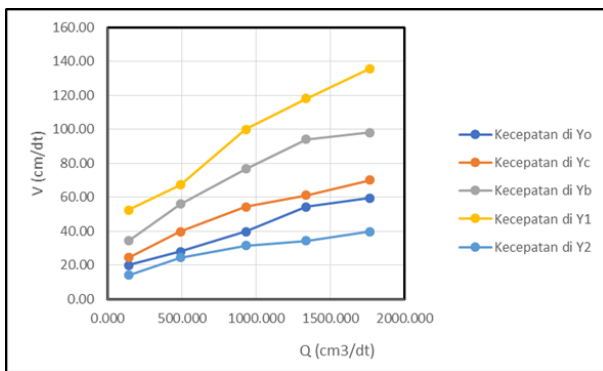
Variasi	No	Q	Yo	Yc	Yb	Y1	Y2	Vo	Vc	Vb	V1	V2
		(cm ³ /dt)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)	(cm/dt)	(cm/dt)	(cm/dt)
Tangga Variasi 3	1	141.3198	0.1	0.4	0.8	1.2	0.2	14.00	28.01	39.61	48.51	19.81
	2	490.4294	0.4	0.5	1.7	2.5	0.3	28.01	31.32	57.74	70.02	24.26
	3	930.9109	1.1	1.2	2.1	3.9	0.5	46.45	48.51	64.18	87.46	31.32
	4	1335.821	1.3	2	4.3	6.6	0.7	50.49	62.63	91.84	113.78	37.05
	5	1765.699	1.9	2.8	4.8	9.6	0.8	61.05	74.11	97.03	137.22	39.61



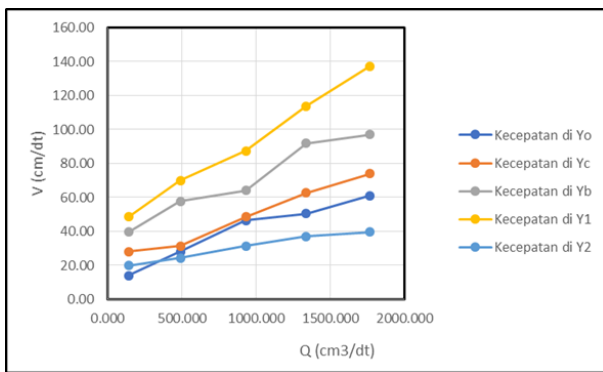
Gambar 12. Grafik hubungan antara Variasi Debit Q (cm³/dtk) dengan Kecepatan Aliran V (cm/dtk) pada Ambang Lebar



Gambar 13. Grafik hubungan antara Variasi Debit Q (cm³/dtk) dengan Kecepatan Aliran V (cm/dtk) pada Ambang Bertangga Variasi 1



Gambar 14. Grafik hubungan antara Variasi Debit Q (m³/dt) dengan Kecepatan Aliran V (m/dt) pada Ambang Bertangga Variasi 2



Gambar 15. Grafik hubungan antara Variasi Debit Q (m³/dt) dengan Kecepatan Aliran V (m/dt) pada Ambang Bertangga Variasi 3

Pada tabel dan grafik hubungan antara variasi debit dengan kecepatan aliran diatas menunjukkan bahwa ketika debit aliran semakin besar maka kecepatan aliran juga semakin besar pula. Urutan peredaman kecepatan aliran pada hilir ambang (y1) berturut-turut adalah ambang bertangga variasi 1 dengan kecepatan rata-rata 88,44 cm/detik, ambang bertangga variasi 3 dengan kecepatan rata-rata 91,40 cm/detik, ambang

bertangga variasi 2 dengan kecepatan rata-rata 94,67 cm/detik, ambang lebar dengan kecepatan rata-rata 95,22 cm/detik.

Analisis Kecepatan Dengan Bilangan Froude

Bilangan Froude adalah perbandingan gaya inersia dengan berat suatu aliran. Dengan Demikian, bilangan Froude berfungsi disemua pola aliran yang berada dalam saluran. Bilangan Froude sangat berperan penting dalam menentukan kondisi aliran pada saat aliran kritis, subkritis, ataupun super kritis. Perhitungan bilangan Froude lebih rinci terdapat pada tabel berikut ini.

Tabel 8. Hubungan kecepatan aliran dengan bilangan Froude pada Ambang Lebar

Q	Titik	V	h	Froude	Ket
(cm ³ /dt)	Pengamatan	(cm/dt)	(cm)	(Fr)	
141.320	Yo	19.81	1.00	0.63	Sub Kritis
	Yc	24.26	0.70	0.93	Sub Kritis
	Yb	31.32	0.58	1.31	Super Kritis
	Y1	39.61	0.15	3.27	Super Kritis
	Y2	19.81	2.20	0.43	Sub Kritis
490.429	Yo	31.32	2.00	0.71	Sub Kritis
	Yc	31.32	1.59	0.79	Sub Kritis
	Yb	56.02	1.14	1.68	Super Kritis
	Y1	77.98	0.42	3.84	Super Kritis
	Y2	28.01	4.20	0.44	Sub Kritis
930.911	Yo	44.29	3.00	0.82	Sub Kritis
	Yc	48.51	2.44	0.99	Sub Kritis
	Yb	72.77	1.78	1.74	Super Kritis
	Y1	105.73	0.77	3.85	Super Kritis
	Y2	31.32	5.78	0.42	Sub Kritis
1335.821	Yo	46.45	4.00	0.74	Sub Kritis
	Yc	59.42	3.10	1.08	Super Kritis
	Yb	87.46	2.13	1.91	Super Kritis
	Y1	122.89	1.06	3.81	Super Kritis
	Y2	37.05	7.00	0.45	Sub Kritis
1765.699	Yo	48.51	5.00	0.69	Sub Kritis
	Yc	62.63	4.00	1.00	Sub Kritis
	Yb	94.98	2.94	1.77	Super Kritis
	Y1	129.87	1.31	3.62	Super Kritis
	Y2	42.01	8.12	0.47	Sub Kritis

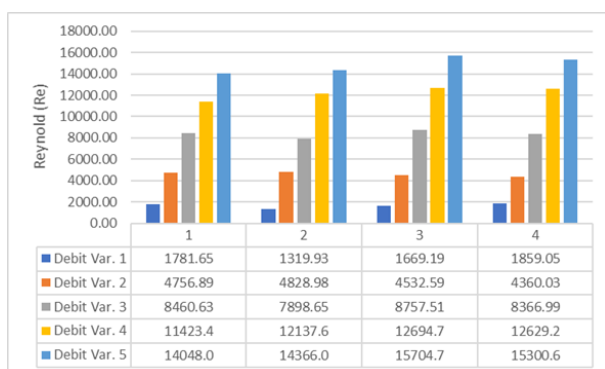
Pada bilangan Froude di titik hulu ambang (yo) nilai rerata $Fr < 1$ maka dapat disimpulkan bahwa aliran di titik hulu ambang (yo) adalah subkritis, bilangan Froude di awal loncatan (y1) nilai rerata $Fr > 1$ maka dapat disimpulkan bahwa aliran di awal loncatan (y1) adalah superkritis, dan bilangan Froude di hilir

ambang (y_2) nilai rerata $Fr < 1$ maka dapat disimpulkan bahwa aliran di hilir ambang (y_2) adalah subkritis.

Analisis Variasi Debit Dengan Bilangan Reynold
Bilangan Reynold merupakan rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskositas. Perhitungan bilangan Reynold lebih rinci terdapat pada tabel berikut ini.

Tabel 9. Hubungan variasi debit dengan bilangan Reynold pada Ambang Lebar

Q (cm^3/dt)	Titik Pengamatan	V (cm/dt)	h (cm)	b (cm)	R (cm)	v (cm^2/dt)	Reynold (Re)	Ket
141.320	Yo	19.81	1.00	7.80	0.7959	0.00893	1765.25	Laminar
	Yc	24.26	0.70	7.80	0.5935	0.00893	1612.09	Laminar
	Yb	31.32	0.58	7.80	0.5049	0.00893	1770.61	Laminar
	Y1	39.61	0.15	7.80	0.1444	0.00893	640.72	Laminar
	Y2	19.81	2.20	7.80	1.4066	0.00893	3119.58	Transisi
490.429	Yo	31.32	2.00	7.80	1.3220	0.00893	4636.09	Turbulen
	Yc	31.32	1.59	7.80	1.1295	0.00893	3960.94	Transisi
	Yb	56.02	1.14	7.80	0.8821	0.00893	5533.79	Turbulen
	Y1	77.98	0.42	7.80	0.3792	0.00893	3310.81	Transisi
	Y2	28.01	4.20	7.80	2.0222	0.00893	6342.83	Turbulen
930.911	Yo	44.29	3.00	7.80	1.6957	0.00893	8409.32	Turbulen
	Yc	48.51	2.44	7.80	1.5009	0.00893	8154.17	Turbulen
	Yb	72.77	1.78	7.80	1.2222	0.00893	9959.60	Turbulen
	Y1	105.73	0.77	7.80	0.6430	0.00893	7613.77	Turbulen
	Y2	31.32	5.78	7.80	2.3287	0.00893	8166.31	Turbulen
1335.821	Yo	46.45	4.00	7.80	1.9747	0.00893	10271.12	Turbulen
	Yc	59.42	3.10	7.80	1.7271	0.00893	11491.81	Turbulen
	Yb	87.46	2.13	7.80	1.3776	0.00893	13492.2	Turbulen
	Y1	122.89	1.06	7.80	0.8335	0.00893	11469.9	Turbulen
	Y2	37.05	7.00	7.80	2.5046	0.00893	10392.2	Turbulen
1765.699	Yo	48.51	5.00	7.80	2.1910	0.00893	11903.1	Turbulen
	Yc	62.63	4.00	7.80	1.9747	0.00893	13849.6	Turbulen
	Yb	94.98	2.94	7.80	1.6763	0.00893	17830.3	Turbulen
	Y1	129.87	1.31	7.80	0.9806	0.00893	14261.7	Turbulen
	Y2	42.01	8.12	7.80	2.6346	0.00893	12395.4	Turbulen



Gambar 16. Grafik Hubungan Variasi Debit (cm^3/dtk) dengan nilai rata-rata Reynold setiap debit.

Pada tabel dan grafik bilangan Reynold di atas diketahui Ambang lebar memiliki nilai rata-rata Reynold (Re) = 8094,13, Ambang bertangga variasi 1 memiliki rata-rata Reynold (Re) = 8110,24, Ambang bertangga variasi 2 memiliki rata-rata Reynold (Re) =

8671,74, Ambang bertangga variasi 3 memiliki rata-rata Reynold (Re) = 8503,17.

Analisis Panjang Loncatan Air Variasi Debit
Pengukuran panjang loncatan air (L_j) dari titik awal loncatan air ke titik terjauh dari olakan.

Tabel 10. Panjang loncatan air pada Ambang Lebar

Variasi	No	Debit	Kedalaman Aliran			Panjang loncatan
		Q (cm^3/dt)	Y_0 (cm)	Y_1 (cm)	Y_2 (cm)	L_j (cm)
Ambang Lebar	1	141.320	1.00	0.15	2.20	23.70
	2	490.429	2.00	0.42	4.20	39.40
	3	930.911	3.00	0.77	5.78	49.80
	4	1335.821	4.00	1.06	7.00	61.60
	5	1765.699	5.00	1.31	8.12	113.50

Tabel 11. Panjang loncatan air pada Ambang Bertangga Variasi 1

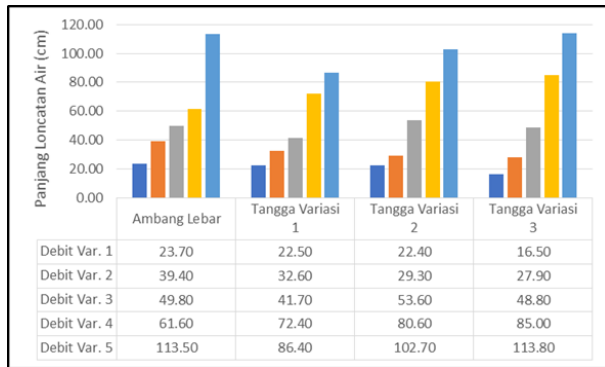
Variasi	No	Debit	Kedalaman Aliran			Panjang loncatan
		Q (cm^3/dt)	Y_0 (cm)	Y_1 (cm)	Y_2 (cm)	L_j (cm)
Tangga Variasi 1	1	141.320	1.00	0.15	1.87	22.50
	2	490.429	2.00	0.41	3.91	32.60
	3	930.911	3.00	0.76	5.72	41.70
	4	1335.821	4.00	1.50	7.05	72.40
	5	1765.699	5.00	1.37	8.04	86.40

Tabel 12. Panjang loncatan air pada Ambang Bertangga Variasi 2

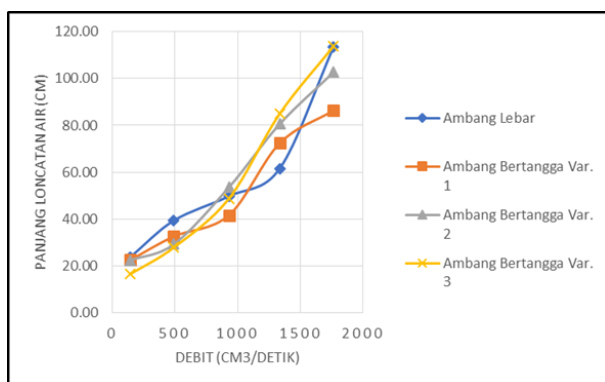
Variasi	No	Debit	Kedalaman Aliran			Panjang loncatan
		Q (cm^3/dt)	Y_0 (cm)	Y_1 (cm)	Y_2 (cm)	L_j (cm)
Tangga Variasi 2	1	141.320	1.00	0.18	2.28	22.40
	2	490.429	2.00	0.41	4.13	29.30
	3	930.911	3.00	1.00	5.75	53.60
	4	1335.821	4.00	1.52	7.10	80.60
	5	1765.699	5.00	1.82	7.41	102.70

Tabel 13. Panjang loncatan air pada Ambang Bertangga Variasi 3

Variasi	No	Debit	Kedalaman Aliran			Panjang loncatan
		Q (cm^3/dt)	Y_0 (cm)	Y_1 (cm)	Y_2 (cm)	L_j (cm)
Tangga Variasi 3	1	141.320	1.00	0.20	2.30	16.50
	2	490.429	2.00	0.41	4.30	27.90
	3	930.911	3.00	1.10	5.77	48.80
	4	1335.821	4.00	1.57	7.10	85.00
	5	1765.699	5.00	1.42	8.30	113.80



Gambar 17. Hubungan Variasi Debit (cm³/dtk) dengan Panjang Loncatan Air (cm)



Gambar 18. Grafik hubungan Variasi Debit (m³/dtk) dengan Panjang Loncatan Air (cm)

Pada tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa semakin bertambahnya debit aliran, panjang loncatan air semakin besar dan pada Ambang Bertangga Variasi 1 memiliki nilai panjang loncatan rerata lebih kecil dimana pada debit pertama ($Q_1 = 141,320 \text{ cm}^3/\text{dtk}$) dengan panjang loncatan air ($L_j = 22,50 \text{ cm}$), pada debit kedua ($Q_2 = 490,429 \text{ cm}^3/\text{dtk}$) dengan panjang loncatan air ($L_j = 32,60 \text{ cm}$), pada debit ketiga ($Q_3 = 930,911 \text{ cm}^3/\text{dtk}$) dengan panjang loncatan air ($L_j = 41,70 \text{ cm}$), pada debit keempat ($Q_4 = 1335,821 \text{ cm}^3/\text{dtk}$) dengan panjang loncatan air ($L_j = 72,40 \text{ cm}$), dan pada debit kelima ($Q_5 = 1765,699 \text{ cm}^3/\text{dtk}$) dengan panjang loncatan air ($L_j = 86,40 \text{ cm}$).

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Anak Tangga Ambang Bertangga Terhadap Panjang Loncatan Air (Uji Model Fisik) maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Urutan variasi ambang yang paling efektif meredam kecepatan aliran pada hilir ambang (y_1) berturut-turut adalah Ambang Bertangga Variasi 1 dengan kecepatan rata-rata 88,44 cm/detik, Ambang Bertangga Variasi 3 dengan kecepatan

rata-rata 91,40 cm/detik, Ambang Bertangga Variasi 2 dengan kecepatan rata-rata 94,67 cm/detik, Ambang Lebar dengan kecepatan rata-rata 95,22 cm/detik.

2. Karakteristik aliran pada setiap variasi ambang dan variasi debit tidak terdapat perubahan yang di mana pada hulu ambang (y_0) rata-rata nilai Froude $0,73 < 1$ adalah aliran subkritis, pada titik awal loncatan air (y_1) rata-rata nilai Froude $3,41 > 1$ adalah aliran superkritis, pada hilir ambang (y_2) rata-rata nilai Froude $0,41 < 1$ adalah aliran subkritis.
3. Urutan variasi ambang yang paling efektif meredam turbulensi aliran berturut-turut adalah Ambang lebar memiliki nilai rata-rata Reynold (Re) = 8094,13, Ambang bertangga variasi 1 memiliki rata-rata Reynold (Re) = 8110,24, Ambang bertangga variasi 3 memiliki rata-rata Reynold (Re) = 8503,17, Ambang bertangga variasi 2 memiliki rata-rata Reynold (Re) = 8671,74.
4. Urutan variasi ambang yang memiliki nilai panjang loncatan air dari paling pendek adalah Ambang Bertangga Variasi 1 dengan panjang loncatan air (L_j) rata-rata 51,12 cm, Ambang Lebar dengan panjang loncatan air (L_j) rata-rata 57,60 cm, Ambang Bertangga Variasi 2 dengan panjang loncatan air (L_j) rata-rata 57,72 cm, Ambang Bertangga Variasi 3 dengan panjang loncatan air (L_j) rata-rata 58,40 cm.

Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh selama penelitian maka sebagai saran-saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan model ambang yang berbeda.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan debit yang lebih beragam dan lebih besar.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan kemiringan ambang yang beragam dan jumlah yang beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrosyid, J., & Muttaqin, F. (2020). Kajian Pengaruh Bendung Bertangga Tipe Kolam Olak Roller Bucket Terhadap Panjang Loncatan Air Dan Peredaman Energi. Simposium Nasional RAPI XIX Tahun 2020 FT UMS, 2013, 70–81.
- Ahmad, R. (2018). Pengukuran Debit Menggunakan Thomson. <https://neededthing.blogspot.com/2018/04/pengukuran-debit-menggunakan-thomson.html>

- Cahyati, N., & Amrun, F. (2020). Perbandingan Pengaruh Ambang Bertangga Dan Ambang Lebar Terhadap Perubahan Dasar Saluran Di Hilir Ambang Pada Saluran Terbuka.
- Chow, V. Te. (1959). Hidrolika Saluran Terbuka (Y. Sianipar (ed.); Cetakan 9). Erlangga.
- Citra, T. A., & Abdurrosyid, S. T. J. (2021). Kajian Pengaruh Variasi Lebar Ambang Pada Bendung Tipe Ambang Lebar Terhadap Panjang Loncatan Air.
- Iverson, B. L., & Dervan, P. B. (2012). Principles of Water Treatment.
- Khatsuria, R. M. (2005). Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators.
- Krisnayanti, D. S., & Dermawan, V. (2011). STUDY INVESTIGATION OF HYDRAULIC MODEL ISBN : 978-602-98397-4-6. 1–8.
- Saputra, A., & Usman. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Ambang Bertangga Terhadap Perubahan Dasar Saluran Di Hilir Pada Saluran Terbuka (Uji Laboratorium). 6.
- Triatmodjo, B. (1993). Hidraulika 1 (Sudarwanto & S. Jodhy Sumitro (eds.); Cetakan 12). Beta Offset.
- Winda Harsanti, Susapto, & Moh. Charits. (2022). Tipe Loncatan Air Pada Ambang Gerigi. Jurnal Teknik Ilmu Dan Aplikasi, 3(2), 114–118. <https://doi.org/10.33795/jtia.v3i1.104>
- Wulandari, L. K. (2021). PENGGUNAAN BANGUNAN BAGI AMBANG LEBAR DENGAN PENAMBAHAN PIPA MELALUI UJI MODEL FISIK (1st ed.). CV. Dream Litera Buana.
- Yuwono, N. (1992). Model Hidraulik. Minat Studi Teknik Sungai dan Pengairan Fakultas Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada Yogyakarta.