

Kajian Uji Model Fisik Bendung Tipe Bulat yang Divalidasi oleh Aplikasi HEC-RAS

Test the physical model of the spherical type weir is validated by the application HEC-RAS

Firdaus Jumadi Putra¹, Nanang Saiful Rizal^{2*}, Totok Dwi Kuryanto³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : firdausjumadi0@gmail.com

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember*^{*}Koresponden Author
Email : nanangsaifulrizal@unmuhjember.ac.id

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : totok@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Bendung adalah suatu bangunan yang dibangun melintang sungai yang berfungsi untuk meninggikan taraf muka air sungai sehingga aliran sungai dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sekitar. Bendung memiliki harga koefisien debit yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien bendung ambang lebar. Karena itu bendung berambang lebar pemakaiannya hampir tidak mempunyai bentuk mercu yang besar sehingga lebih tahan terhadap benturan batu gelondong, bongkah, dan sebagainya oleh sebab itu dilakukan penyelidikan di laboratorium Hidrolika secara dua dimensi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kecepatan aliran terhadap model fisik bendung tipe bulat dan pengaruh karakteristik aliran terhadap bilangan froude pada model fisik bendung tipe bulat. Adapun hasil yang didapat dari penelitian ini adalah pengaruh kecepatan awal aliran didapatkan nilai paling tinggi yaitu pada jari – jari 2 dengan nilai V_0 0,136 m/det dan untuk V_2 yang didapat paling tinggi yaitu pada jari – jari 4 dengan nilai 2,667 m³/det, dan untuk karakteristik aliran yang terjadi pada Fr_0 adalah subkritis dikarenakan Froudenya di bawah nilai 1,00 dan untuk paling efektif pada debit 0,0010 dengan nilai bilangan Froudenya 0,003 dan untuk nilai Froude₁ didapatkan nilai bilangan froude₁ 2,493 dinamakan aliran superkritis.

Kata Kunci : Bendung, karakteristik aliran, bilangan froude.

Abstract

Weir is a building that is built across the river which serves to raise the water level of the river so that the river flow can be utilized for the needs of the surrounding area. The weir has a much higher discharge coefficient value than the wide-threshold weir coefficient. Because of that, the wide-threshold weir has almost no shape of a large crest so that it is more resistant to the impact of logs, boulders, and so on. Therefore, two-dimensional investigations were carried out in the Hydraulics Laboratory. The purpose of this study was to determine the effect of flow velocity on the physical model of the spherical type weir and the effect characteristics of the Froude number on the physical model of the spherical type weir. The results obtained from this study are the influence of the initial flow velocity, the highest value is obtained, namely at radius 2 with a value of V_0 0.137 m/s and for V the highest value is obtained, namely at radius 4 with a value of 2.667 m³/sec. , and characteristics flow₀ are subcritical because Froude is below the value of 1.00 and for the most effective discharge at 0.0010 with the Froude 0.003 and for the Froude 1 value, Froude₁ value is 2.493 which called supercritical flow.

Keywords: Weir, flow characteristics, Froude number.

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bendung adalah suatu bangunan yang di bangun melintang sungai untuk meninggikan taraf muka air sungai atau membendung aliran sungai sehingga aliran sungai dapat digunakan untuk irigasi, bendung mercu tipe bulat memiliki harga koefisien debit yang jauh lebih tinggi di dibandingkan dengan koefisien bendung ambang lebar. Karena itu bendung berambang lebar hampir tidak mempunyai bentuk mercu yang besar sehingga lebih tahan terhadap benturan batu gelondong, bongkah dan sebagainya oleh sebab itu dilakukan penyelidikan di laboratorium hidrolika secara dua dimensi. Uji model fisik ini bangunan air sangat diperlukan dalam rangka menunjang kegiatan detail desain sudah dilakukan untuk mempelajari kinerja bangunan air serta pengaruhnya terhadap system sungai disekitar bangunan air. Salah satunya mercu bendung digunakan lagi pemakaiannya mempunyai bentuk mercu yang besar, sehingga lebih tahan terhadap benturan batu gelondong, bongkah dan sebagainya.

B. Rumusan Masalah

Maka rumusan masalah yang akan dibahas antara lain :

1. Bagaimana pengaruh kecepatan aliran terhadap model fisik bendung tipe bulat?
2. Bagaimana karakteristik aliran terhadap bilangan Froude pada model fisik bendung tipe bulat?

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Syarat Penentu Lokasi Bendung

Adapun aspek aspek yang mempengaruhi dalam pemilihan bendung adalah:

- a. Kondisi topografi
- b. Kondisi geoteknik pondasi bendung
- c. Pengaruh hidraulik
- d. Pengaruh regime sungai
- e. Tingkat kesulitan saluran induk
- f. Luas daerah tangkapan air
- g. Ruang untuk bangunan pelengkap bandung
- h. Luas layanan irigasi
- i. Biaya pembangunan
- j. Kesepakatan stakholder

B. Perencanaan Hidrolis

Perencanaan Hidrolis bagian – bagian pokok bangunan utama akan dijelaskan dalam pasal – pasal berikut ini. Perencanaan tersebut mencakup tipe – tipe bangunan yang telah dibicarakan dalam sub bab terdahulu, yakni:

1. Bendung pelimpah.
2. Bendung mekanis.
3. Bendung karet.
4. Pengambilan bebas.
5. Pompa dan tandon.
6. Bendung saringan sawah.

C. Tinggi Air Banjir Di Hilir Bendung

Yang dimaksud dengan air banjir rencana adalah tinggi air banjir sungai sebelum ada bendung. Ini akan sama dengan tingginya air banjir di hilir bendung setelah adanya bendung. Hal ini disebabkan karena penampangnya sungai di hilir bendung tidak akan berubah meskipun setelah adanya bendung. Dengan demikian maka elevasi muka air di hilir bendung sebelum ada bendung di hitung.

$$\text{Manning} : V = \frac{1}{n} R = \frac{2}{3} S = \frac{1}{2}$$

$$\text{Chezy} : V = C \sqrt{R \cdot i}$$

$$\text{Dimensi saluran } A = (b + m \cdot h) h$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

D. Lebar Efektif Bendung

Lebar maximum bendung hendaknya tidak lebih dari 1,2 kali rata – rata sungai pada ruas yang stabil. Untuk sungai – sungai yang mengangkut bahan – bahan sedimen kasar yang berat, lebar bendung tersebut harus lebih di sesuaikan lagi terhadap lebar sungai rata – rata, yakni yang diambil 1,2 kali lebar tersebut. Agar pembuatan bangunan peredam energi terlalu mahal, maka aliran per-satuan lebar hendaknya dibatasi sampai sekitar 12 – 14 m³/det, yang memberikan tinggi energi maksimum 3,5 – 4,5 m. lebar efektif mercu (Be) dihubungkan dengan lebar mercu yang sebenarnya (B), yakni jarak antara pangkal – pangkal bendung dan tiang pancang, dengan persamaan berikut.

(Standart perencanaan irigasi KP – 02, 1996 : 38)

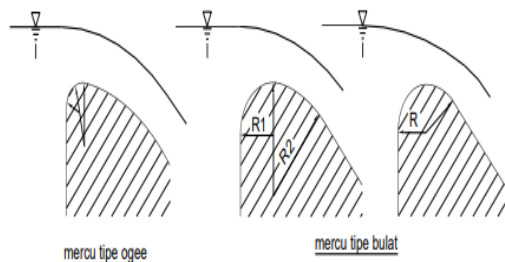
$$Be = B - 2 (n \cdot Kp + Ka) H_1$$

Dengan :

- Be = lebar efektif bendung (m)
 B = lebar bendung (m)
 N = jumlah pilar
 Ka = koefisien kontraksi pangkal bendung
 Kp = koefisien kontrak pilar
 H₁ = tinggi energi (m)

E. Perencanaan Mercu

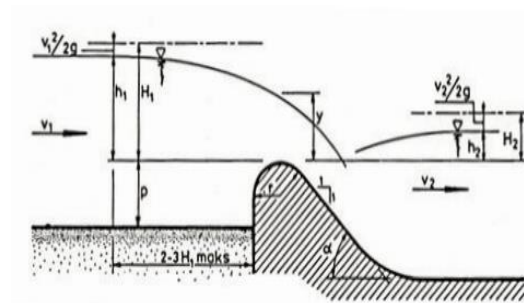
Di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe mercu untuk bendung pelimpah, yaitu tipe bulat dan tipe ogee. Kedua bentuk mercu tersebut dapat dipakai baik untuk konstruksi beton maupun pasangan batu dan bentuk kombinasi dari keduanya. Kemiringan maksimum muka bendung bagian hilir vertical mungkin menguntungkan jika bahan pondasinya dibuat dari batu keras dan tidak diperlukan kolam olak,



Gambar 1. Bentuk bentuk Mercu
 (Sumber: KP-02 bagian bangunan utama)

❖ Mercu Bulat

Bendung mercu bulat memiliki harga koefisien debit yang jauh lebih tinggi (44%) dibandingkan dengan koefisien bendung ambang lebar. Hal ini akan banyak memberikan keuntungan pada sungai, karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisien debit menjadi lebih tinggi karena lengkung *steramlime* dan tekanan negative pada mercu. Tekanan pada mercu adalah fungsi perbandingan antara H₁ dan r (H₁ / r), untuk bendungan dengan dua jari jari (R₂), (Gambar 2.2), jari jari hilir akan digunakan untuk menemukan harga koefisien debit untuk harus dibatasi sampai -4 m tekanan air jika mercu terbuat dari beton :



Gambar 2 Bendung Mercu Bulat
 (Sumber : Standart perencanaan irigasi KP – 02, 1986)

Dari gambar 2 tampak bahwa jari jari meru bendung pasangan batu akan berkisar antara 0,3 samapi 0,7 kali H_{1maks} dan untuk mercu bendung beton dari 0,1 sampai 0,7 kali H_{1maks} persamaan tinggi energi debit untuk bendung ambang pendek dengan pengontrol segi empat adalah :

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} g} \cdot B_e \cdot H_1^{\frac{3}{2}}$$

Dengan :

- Q = debit rencana (m³/det)
 C_d = koefisien debit (C_d = C₀ x C₁ x C₂)
 D = percepatan gravitasi (9,80 m/det²)
 B_e = lebar efektif bendung (m)
 H₁ = tinggi energi di atas mercu (m)

F. Konsep Dasar Aliran

Menurut ilmu mekanika fluida aliran khususnya air diklasifikasikan berdasarkan perbandingan antra gaya inersia dan gaya – gaya kekentalannya menjadi tiga bagian yaitu aliran laminar, turbulen dan transisi (*french, 1985*). Variable yang dipakai untuk untuk klarifikasi ini adlah bilangan Reynolds.

❖ Karakteristik Aliran

Karakteristik aliran adalah gambaran spesifik mengenai aliran yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi, dan manusia. Aliran pada saluran terbuka merupakan aliran yang mempunyai permukaan bebas. Permukaan bebas itu merupakan pertemuan dua fluida dengan kerapatan (density) yang berbeda, biasanya pada saluran terbuka itu dua fluida itu

adalah udara dan air dimana kerapatan udara jauh lebih kecil daripada kerapatan air.

❖ Tipe aliran

Mengkaji suatu aliran pada saluran terbuka, haruslah dipahami tentang sifat dan jenis aliran itu sendiri. Adapun tipe aliran pada saluran terbuka yakni dipengaruhi oleh adanya suatu permukaan bebas yang berkaitan langsung dengan parameter aliran seperti kecepatan, ketebalan gradient serta geometri saluran. Aliran saluran terbuka dapat digolongkan berdasarkan pada berbagai kriteria, salah satu kriteria utama adalah perubahan kedalaman aliran (h) terhadap waktu (t) dan tempat (s).

❖ Sifat aliran

Sifat – sifat aliran saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh adanya pengaruh ketebalan (*viscositas*) dan pengaruh gravitasi dalam perbandingan dengan gaya-gaya kelembapan dari aliran. Tegangan permukaan sebenarnya juga dapat berpengaruh pada sifat – sifat aliran, namun dalam kebanyakan aliran tegangan permukaan tidak memegang peranan penting, oleh karena itu tidak diperhitungkan.

❖ Debit Aliran

Debit aliran adalah jumlah air yang mengalir dalam satuan persatuan waktu. Debit adalah suatu besaran air yang keluar dari daerah aliran sungai (DAS). Satuan debit yang digunakan adalah meter kubik per detik (m^3/det). Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai persatuan waktu (Asdak, 2002).

G. Pengertian HEC-RAS

HEC-RAS merupakan model sistem terintegrasi yang dikembangkan dalam bentuk aplikasi yang efektif untuk berbagai kondisi, sistem HEC-RAS meliputi *Graphical User Interface* (GUI), komponen terpisah dari analisis hidraulik, penyimpanan data, kemampuan pengaturan, grafik dan fasilitas pelaporan. HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, *River Analysis System* (RAS), yang dibuat oleh *Hydrologic*

Engineering Center (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resource* (IWR), di bawah *US Army Corps of Engineers* (USACE). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one dimensional flow model*). HEC-RAS memiliki versi terbaru saat ini, versi 4.1 beredar sejak Januari 2010. HEC-RAS memiliki empat komponen model dimensi: 1) hitungan profil muka air aliran permanen, 2) simulasi aliran tak permanen, 3) hitungan transport sedimen, dan 4) hitungan kualitas air. Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut mempunyai geometri yang sama, routine hitungan hidraulik yang sama serta beberapa fitur design hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan.

Pada dasarnya HEC-RAS dikembangkan untuk dapat mengakomodasikan 4 jenis analisis hidraulik satu dimensi yaitu :

1. Analisis profil muka air untuk aliran tetap.
2. Analisis profil muka air untuk aliran tidak tetap.
3. Analisis sedimen transport/mobile dengan kondisi batas dapat bergerak (*movable boundary*).
4. Pemodelan kualitas air.

3. METODE PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember



Gambar 3 Laboratorium Air Universitas Muhammadiyah Jember

(Sumber : Dokumentasi Pribadi 2022)

B. Jenis Penelitian dan Sumber Data

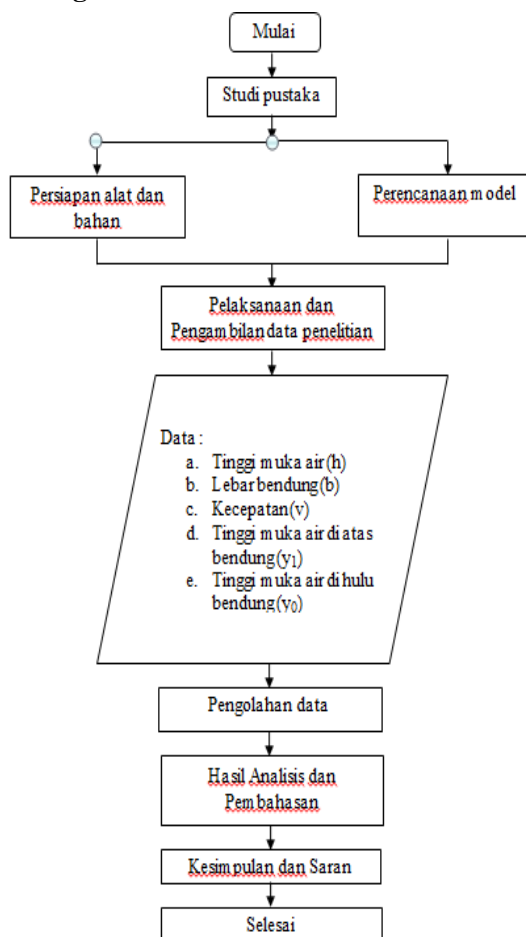
❖ Jenis penelitian

Penelitian ini dilakukan adalah eksperimen dengan model simulasi dimana kondisi dibuat dan diatur sendiri oleh penelitian dengan mengacu pada literatur yang berkaitan dengan judul penelitian tersebut

❖ Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data primer yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di laboratorium. Untuk pembuatan model fisik di perlukan skala model, yaitu perbandingan parameter antara protip (keadaan sebenarnya dilapangan) dengan model (di Laboratorium),

C. Diagram Alur



Gambar 4 Diagram Alur Penelitian
 (Sumber :Hasil Perhitungan)

D. Langkah Percobaan

Dalam pelaksanaan percobaan dilakukan langkah – langkah sebagai berikut :

- ❖ Pastikan tangki air telah diisi terlebih dahulu dan siapkan peralatan yang akan digunakan.
- ❖ Setelah dipersiapkan, buka kran pada tangki air hingga mengalir dalam saluran terbuka.
- ❖ Tunggu hingga air stabil lalu jatuhkan gabus untuk mengetahui kecepatan aliran (gunakan stopwatch).
- ❖ Debit yang digunakan sekitar 3000, 3500 dan 4000 cm³/det.
- ❖ Kemudian pasang bendung tipe bulat.
- ❖ Amati saat dimana air mulai meluncur dari atas bendung dan bagaimana aliran air yang meluncur.
- ❖ Tunggu hingga air stabil lalu ukur tinggi muka air dimuka bendung dan di atas bendung.
- ❖ Lakukan percobaan diatas sebanyak 3 kali dengan variasi debit yang berbeda.

4. ANALISA MODEL UJI PENELITIAN

A. Metode Pengolahan Data Pada Model Uji

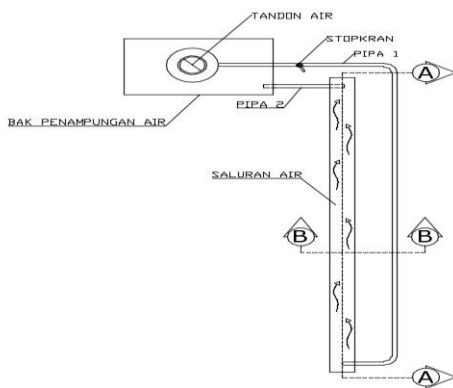
Hasil penelitian ini menggambarkan hubungan antar parameter aliran yang menggambarkan hubungan pengaruh antar parameter debit, kedalaman aliran, kecepatan aliran dan koefisien debit, serta hubungan pengaruh antara kedalaman aliran di sebelah hilir dan hulu bendung dengan variasi bentuk mercu bendung.



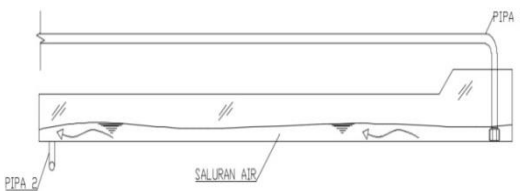


Gambar 5 Dokumentasi model fisik dan saluran lab.
 (Sumber :Hasil Dokumentasi Pribadi 2022)

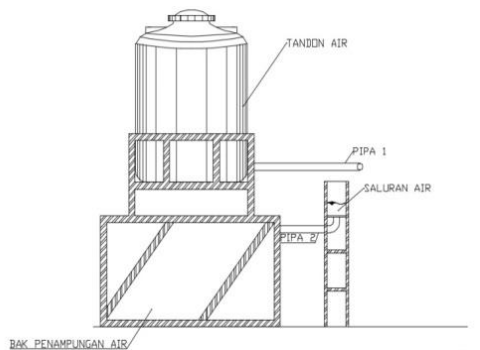
A. Denah Saluran



B. Saluran



C. Tandon



Gambar 6 Denah model fisik dan potongan memanjang serta melintang.
 (Sumber : Desain Autocad 2022)

Aliran dari tandon kemudian dialirkan ke dalam saluran pengumpul dengan lebar 15 cm, ketinggian 24 cm, dengan panjang 410 cm. Serta kemiringan saluran pengumpul 0,03. Air yang mengalir pada saluran kemudian menuju ke mercu dengan lebar 15 cm dan panjang 20 cm. Dalam melaksanakan uji model fisik di laboratorium dilakukan 3 model fisik dengan variasi debit sebanyak 7 variasi debit.

B. Perhitungan Mercu

Perhitungan mercu yang digunakan menggunakan mercu tipe bulat dan tinggi air di atas mercu di hitung menggunakan persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bendung mercu tipe bulat, perhitungan bendung disesuaikan dengan data awal Laboratorium dengan rata rata sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Lebar Bendung (B)} &= 0,15 \text{ cm} \\ \text{Lebar Mercu Bendung} &= B - (B_{p\text{total}} + T_{p\text{total}}) \\ \text{Lebar Efektif Bendung} &= B_m - (2(n \cdot k_p + k_a) \cdot H_1) \\ &= 0,15 - (2(0)H_1) \\ &= 0,15 - 0H_1 \end{aligned}$$

$$\text{Elevasi Mercu Bendung} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien Debit (cd)} = \dots (cd = c_0 \cdot c_1 \cdot c_2)$$

$$\text{Debit air (Q)} = 0,004 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{Gaya grafitasi bumi} = 9,81 \text{ m}^3/\text{det}$$

C. Data Pengujian Aliran

Pengujian aliran dilakukan dengan mengalirkan air sepanjang *flume* melewati pelimpah bulat dengan 7 variasi debit dengan menggunakan pompa air. Besar debit yang lewat di atur dengan mengatur bukaan kran yaitu 90, 85, 75, 65, 45, 35 dan 30. Dilakukan sebanyak tiga kali trial untuk mendapatkan waktu rata rata yang di lewat air di *flume*.

Ketinggian Muka Air

Hasil pengukuran ketinggian muka air di hulu mercu (h) diperoleh :

$$\diamond H_d = H_1 - H_a$$

Dengan :

H_d = tinggi muka air di hulu bendung (m)

H_1 = tinggi energi diatas mercu (m)

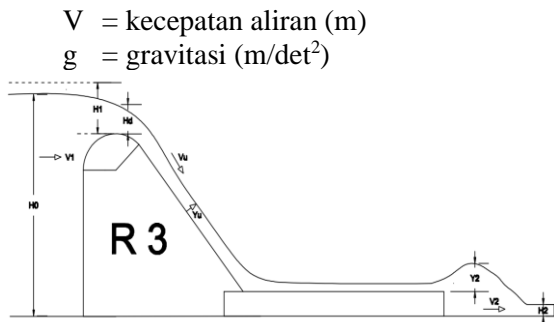
H_a = tinggi kecepatan energi (m)

$$\diamond H_a = V^2/2g$$

$$= 0,129^2/2 \cdot 9,81$$

$$= 0,081 \text{ m}$$

Dengan :



Gambar 7 Mercu bendung tipe bulat jari jari 3
 (Sumber: Desain AutoCad 2022)

Table 1 Perhitungan Muka Air Dengan Variasi Debit

No	Jari - jari (cm)	Q	H ₁	H _d	H _a	H ₀	H ₂	Fr ₀	Fr ₁
		(m ³ /dt)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
1	2	0,0040	0,137	0,046	0,091	0,196	0,011	0,098	7,380
2		0,0035	0,118	0,044	0,074	0,194	0,011	0,087	6,599
3		0,0030	0,099	0,042	0,058	0,192	0,011	0,075	5,818
4		0,0025	0,081	0,039	0,041	0,189	0,010	0,064	5,038
5		0,0020	0,062	0,037	0,025	0,187	0,010	0,053	4,257
6		0,0015	0,047	0,031	0,016	0,181	0,008	0,041	5,139
7		0,0010	0,032	0,025	0,007	0,175	0,005	0,029	6,020
8	3	0,0040	0,140	0,062	0,078	0,212	0,015	0,087	4,634
9		0,0035	0,121	0,057	0,064	0,207	0,014	0,078	4,285
10		0,0030	0,102	0,051	0,051	0,201	0,014	0,069	3,936
11		0,0025	0,083	0,046	0,038	0,196	0,013	0,060	3,587
12		0,0020	0,064	0,040	0,024	0,19	0,012	0,05	3,238
13		0,0015	0,050	0,034	0,016	0,184	0,010	0,040	3,436
14		0,0010	0,035	0,028	0,007	0,178	0,007	0,03	3,634
15	4	0,0040	0,154	0,042	0,057	0,247	0,010	0,07	8,514
16		0,0035	0,132	0,042	0,049	0,233	0,011	0,065	6,965
17		0,0030	0,110	0,042	0,040	0,220	0,013	0,060	5,416
18		0,0025	0,088	0,042	0,032	0,206	0,014	0,055	3,866
19		0,0020	0,066	0,042	0,024	0,192	0,015	0,05	2,317
20		0,0015	0,051	0,036	0,015	0,186	0,012	0,039	2,405
21		0,0010	0,037	0,030	0,007	0,18	0,009	0,03	2,493

(Sumber: Pengolahan Data 2022)

D. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dihitung dalam dua kondisi yaitu sebelum dan sesudah di bendung. Pengujian dilakukan secara manual dengan menggunakan bahan gabus dengan cara gabus

diletakkan dihilu saluran dengan jarak yang ditentukan kemudian dihitung waktu gabus sampai kehilir saluran untuk mengetahui kecepatan aliran yang ditimbulkan. Tabel berikut adalah kecepatan aliran yang dilakukan di laboratorium.

Tabel 2 Perhitungan Kecepatan Aliran Dihulu Setelah Di Bendung

No	Jari - jari (cm)	Q (m ³ /dt)	H ₀ (m)	H ₂ (m)	V ₀ (m/dt)	V ₂ (m/dt)
1	2	0.0040	0.196	0.011	0.136	2.424
2		0.0035	0.194	0.011	0.120	2.171
3		0.0030	0.192	0.011	0.104	1.905
4		0.0025	0.189	0.010	0.087	1.626
5		0.0020	0.187	0.010	0.071	1.333
6		0.0015	0.181	0.008	0.055	1.333
7		0.0010	0.175	0.005	0.038	1.333
8	3	0.0040	0.212	0.015	0.126	1.778
9		0.0035	0.207	0.014	0.112	1.637
10		0.0030	0.201	0.014	0.098	1.481
11		0.0025	0.196	0.013	0.084	1.307
12		0.0020	0.190	0.012	0.070	1.111
13		0.0015	0.184	0.010	0.054	1.053
14		0.0010	0.178	0.007	0.037	0.952
15	4	0.0040	0.247	0.010	0.108	2.667
16		0.0035	0.233	0.011	0.100	2.074
17		0.0030	0.220	0.013	0.091	1.600
18		0.0025	0.206	0.014	0.081	1.212
19		0.0020	0.192	0.015	0.069	0.889
20		0.0015	0.186	0.012	0.054	0.833
21		0.0010	0.180	0.009	0.037	0.741

(Sumber : Pengolahan Data 2022)

E. Loncatan Air

Apabila tipe saluran turbulen berubah dari aliran superkritis menjadi subkritis maka loncatan air. Suatu loncatan hidraulik akan terbentuk pada saluran jika bilangan froudenya aliran F₁, kedalaman liran y₁, dan y₂ memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \sqrt{1 + 8F^2} - 1$$

Dengan :

- y₁ = kedalaman air diawal loncatan air
- y₂ = kedalaman air diatas bendung (m)
- F = bilangan froude

Pengaruh gravitasi terhadap aliran dapat dinyatakan dengan angka froude, Angka froude meliputi bagian dan hilir pada saat loncatan air. Berdasarkan gambar 1.8 menunjukkan nilai tinggi rerata tinggi loncatan air (V₀) dan dengan variasi debit 0,004m³/det, 0,0035m³/det, 0,0030m³/det, 0,0025m³/det, 0,0015m³/det dan 0,0010m³/det.

Dan mercu jari jari 2 = 1,333m, mercu jari jari 3 = 0,952m dan mercu jari jari 4 = 0,741m dari hasil tersebut dapat disimpulkan jari jari yang efektif untuk mereduksi tinggi loncatan air yaitu jari jari 4, karena memiliki rerata tinggi loncatan rendah.

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil laboratorium pengukuran dan pengamatan pada model hidraulik, diperoleh bahwa variasi debit

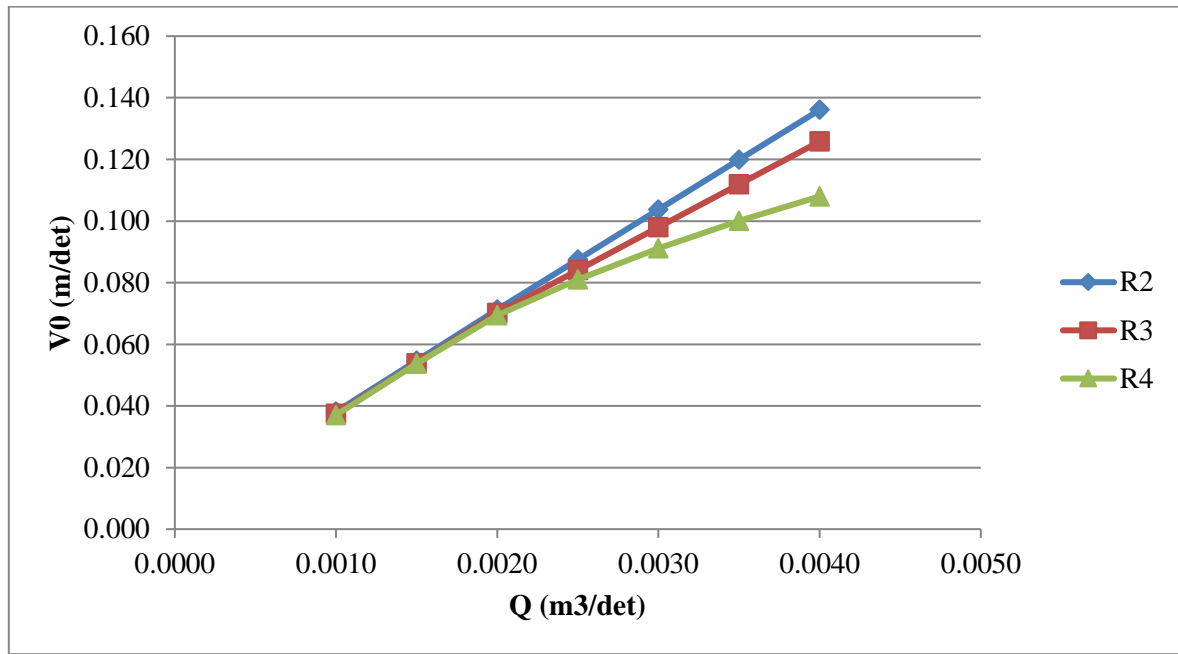
dan kecepatan hidraulik sangat mempengaruhi karakteristik aliran. Data yang diperoleh sebagai berikut :

Kecepatan awal loncatan (V_1) :

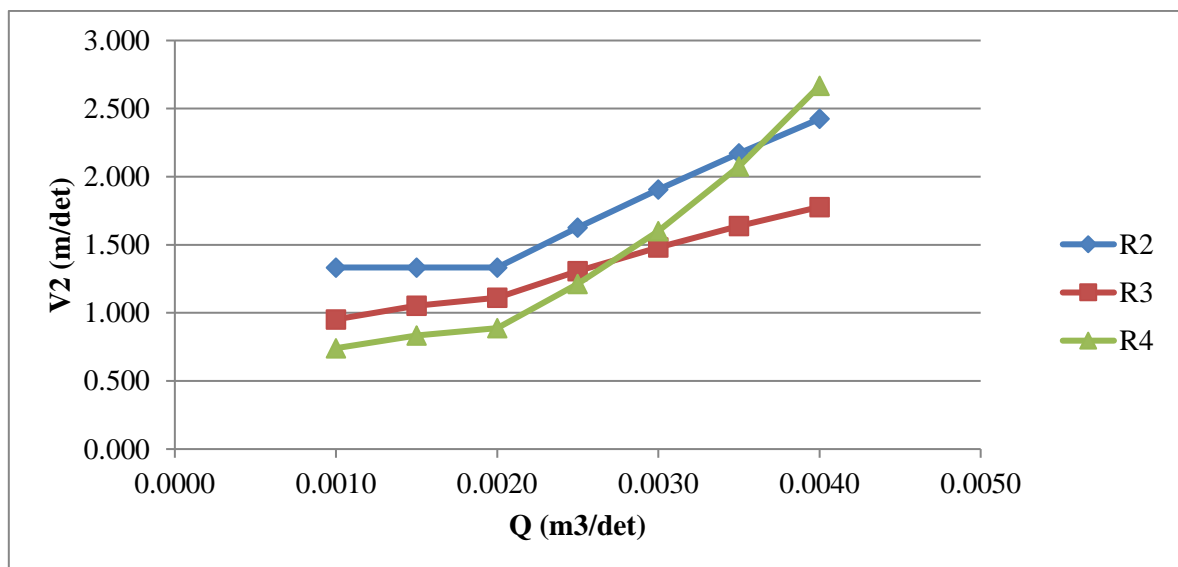
$$= \sqrt{2g \left(\frac{1}{2} H1 + Z\right)}$$

$$= \sqrt{2 \times 9,81 \left(\frac{1}{2} \times 0,125 + 0,05\right)}$$

$$= 1,486 \text{ (m/det)}$$



Gambar 8 Grafik Kecepatan Di Hulu
 (Sumber : Grafik hasil perhitungan)



Gambar 9 Grafik Tinggi Loncatan Air Dengan Debit
 (Sumber : Grafik hasil perhitungan)

Dari loncatan air terkecil (V_2) bisa dilihat pada gambar 1.9 untuk jari-jari 2 = 1,333m, jari-jari 3 = 0,592m, jari-jari 4 = 0,741m, dan dapat disimpulkan bahwa rerata tinggi loncatan air terkecil terjadi pada jari-jari 4.

Klasifikasi aliran dapat dilakukan dengan mengacu pada bilangan Froude (Fr) tak berdimensi, dimana acuan dengan bilangan

Froude yang ada dapat digolongkan yaitu $Fr < 1,00$ adalah subkritis, $Fr = 1,00$ adalah aliran kritis dan $Fr > 1,00$ adalah aliran superkritis.

Angka Froude bertujuan untuk mengetahui dan menetapkan jenis aliran yang terjadi dalam saluran pada proses pengaliran. Melalui bilangan Froude ini kita bisa mengklarifikasikan aliran, apakah superkritis atau subkritis.

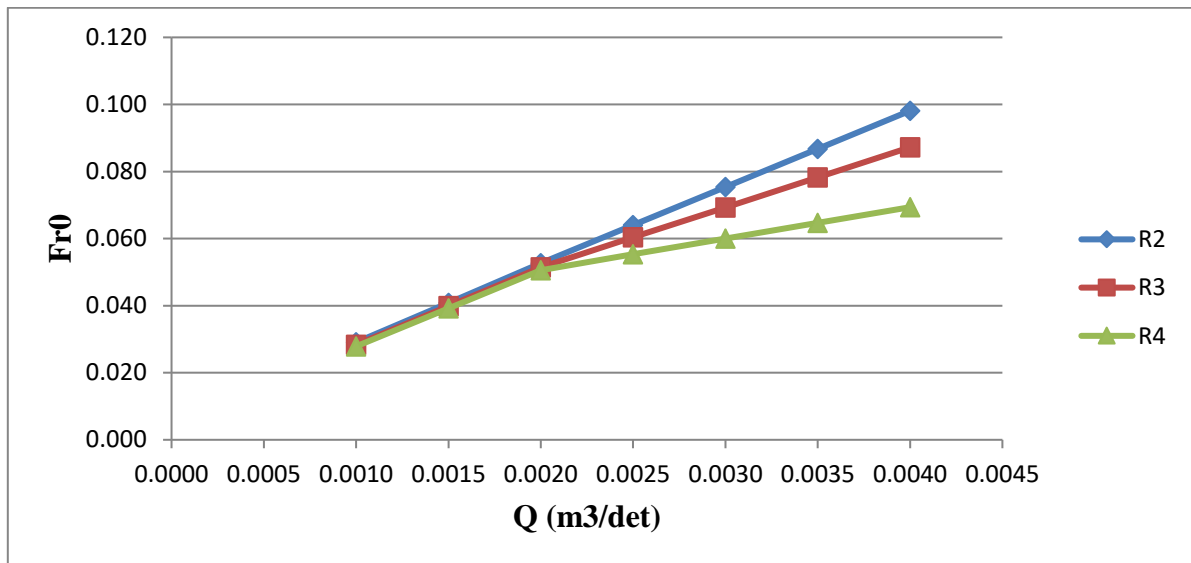
Tabel 3 Hasil Perhitungan Froude

No	Jari - jari (cm)	Q	H1	Hd	Ha	H0	H2	Fr ₀	Fr ₁
		(m ³ /dt)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
1	2	0.0040	0.137	0.046	0.091	0.196	0.011	0.098	7.380
2		0.0035	0.118	0.044	0.074	0.194	0.011	0.087	6.599
3		0.0030	0.099	0.042	0.058	0.192	0.011	0.075	5.818
4		0.0025	0.081	0.039	0.041	0.189	0.010	0.064	5.038
5		0.0020	0.062	0.037	0.025	0.187	0.010	0.053	4.257
6		0.0015	0.047	0.031	0.016	0.181	0.008	0.041	5.139
7		0.0010	0.032	0.025	0.007	0.175	0.005	0.029	6.020
8	3	0.0040	0.140	0.062	0.078	0.212	0.015	0.087	4.634
9		0.0035	0.121	0.057	0.064	0.207	0.014	0.078	4.285
10		0.0030	0.102	0.051	0.051	0.201	0.014	0.069	3.936
11		0.0025	0.083	0.046	0.038	0.196	0.013	0.060	3.587
12		0.0020	0.064	0.040	0.024	0.19	0.012	0.05	3.238
13		0.0015	0.050	0.034	0.016	0.184	0.010	0.040	3.436
14		0.0010	0.035	0.028	0.007	0.178	0.007	0.03	3.634
15	4	0.0040	0.154	0.042	0.057	0.247	0.010	0.07	8.514
16		0.0035	0.132	0.042	0.049	0.233	0.011	0.065	6.965
17		0.0030	0.110	0.042	0.040	0.220	0.013	0.060	5.416
18		0.0025	0.088	0.042	0.032	0.206	0.014	0.055	3.866
19		0.0020	0.066	0.042	0.024	0.192	0.015	0.05	2.317
20		0.0015	0.051	0.036	0.015	0.186	0.012	0.039	2.405
21		0.0010	0.037	0.030	0.007	0.18	0.009	0.03	2.493

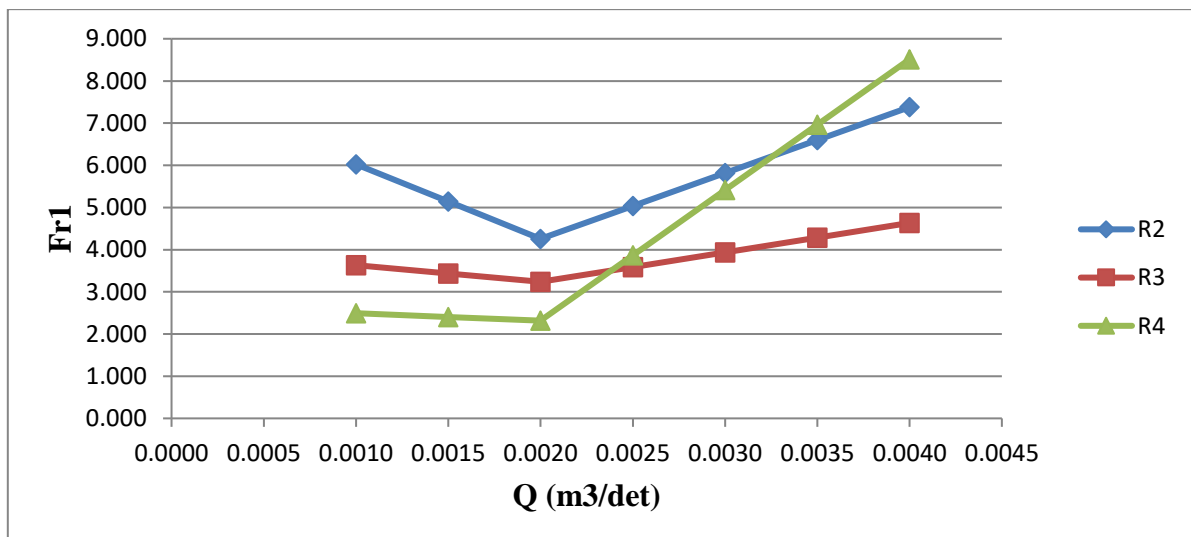
(Sumber : Pengolahan Data 2022)

Berdasarkan tabel 3 dapat dilihat bahwa untuk mercu bendung dengan jari-jari 2, 3 dan 4 mempunyai rata-rata yang sama yaitu $Fr < 1,00$ adalah aliran subkritis.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 10 Grafik Bilangan (Fr_0)
 (Sumber : Grafik hasil perhitungan 2022)



Gambar 11 Grafik Bilangan Froude¹
 (Sumber : Grafik hasil perhitungan 2022)

Grafik pada gambar 11 dapat dilihat Fr^1 yang terjadi loncatan aliran memiliki nilai yang tinggi dimana $Fr > 1,00$ yaitu aliran Superkritis

F. Analisa HEC-RAS

1. Input Data

Panjang saluran irigasi ini terletak di Desa Kertosari, Kecamatan Pakusari, Kabupaten Jember, Jawa Timur. Untuk panjang saluran yang di tinjau adalah 50 m dengan diketahui debit rencana, selanjutnya penulisan

melakukan penelusuran banjir dengan aplikasi HEC-RAS (6.0) dengan program aplikasi ini akan diketahui bentuk dari penampang saluran irigasi kertosari data cross section yang ada, selain itu kita juga bisa tahu bagaimana yang mengalami banjir dan bagian mana yang tidak mengalami banjir serta kondisi tanggulnya.



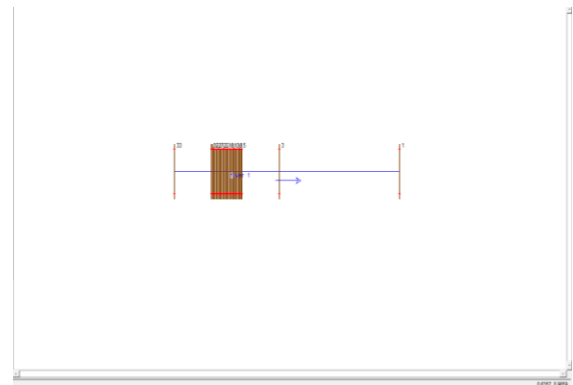
Gambar 12 Lokasi Saluran Irigasi Kertosari
 (Sumber : Google Earth, 2022)

Data data yang harus di input untuk menganalisis kapasitas penampang Saluran Irigasi Kertosari meliputi :

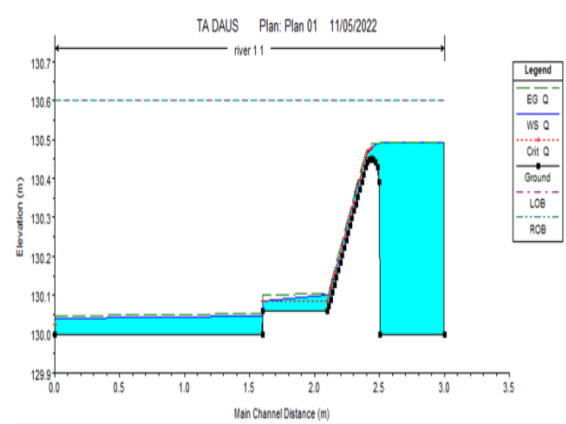
- ❖ Angka manning bantaran kiri = 0.011 (saluran lurus dan bebas dari kotoran).
- ❖ Angka manning bantaran kanan = 0.011 (saluran lurus dan bebas dari kotoran)
- ❖ Angka manning saluran utama = 0,03 (saluran alam bersih dan lurus)



Gambar 13 Bantaran Kanan dan Kiri Saluran Irigasi Kertosari
 (Sumber : Dokumentasi Pribadi 2022)



Gambar 14 Skema Saluran Kertosari
 (Sumber :Perhitungan HEC-RAS 6.0)



Gambar 15 Skema Saluran Kertosari
 (Sumber : Perhitungan HEC-RAS 6.0)

Berikut adalah bentuk alur sungai yang sudah digambarkan pada aplikasi HEC-RAS dengan jari – jari 2

2. Hasil Output

Setelah data data pengukuran dilapangan, saluran dan debit banjir rencana dimasukkan dilanjutkan dengan melakukan eksekusi program (*Running Program*).

Apabila semua proses mulai dari awal sampai dengan akhir telah dilakukan dengan benar, maka akan diperoleh hasil pemodelan berupa profil muka air setiap selang waktu tertentu sesuai dengan yang telah di tetapkan saat (*Running Program*) dijalankan. Debit yang di input kedalam program aplikasi HEC-RAS adalah data debit dari Laboratorium.

Tabel 4 Perhitungan Debit Saluran

HEC-RAS Plan: 1 River: river 1 Reach:

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	33	Q	0.01	130.00	130.49		130.49	0.000004	0.03	0.22	0.45	0.01
1	32	Q	0.01	130.00	130.49		130.49	0.000004	0.03	0.22	0.45	0.01
1	31	Q	0.01	130.39	130.49		130.49	0.000301	0.13	0.05	0.45	0.13
1	30	Q	0.01	130.43	130.49		130.49	0.001492	0.23	0.03	0.45	0.30
1	29	Q	0.01	130.44	130.49		130.49	0.003558	0.30	0.02	0.45	0.46
1	28	Q	0.01	130.45	130.48		130.49	0.007288	0.38	0.02	0.45	0.64
1	27	Q	0.01	130.45	130.48	130.48	130.49	0.011927	0.44	0.01	0.45	0.81
1	26	Q	0.01	130.45	130.47	130.47	130.49	0.019989	0.52	0.01	0.45	1.04
1	25	Q	0.01	130.44	130.47	130.47	130.48	0.019850	0.52	0.01	0.45	1.03
1	24	Q	0.01	130.43	130.46	130.46	130.47	0.018724	0.51	0.01	0.45	1.01
1	23	Q	0.01	130.41	130.44	130.44	130.45	0.018724	0.51	0.01	0.45	1.01
1	22	Q	0.01	130.39	130.42	130.42	130.43	0.021269	0.53	0.01	0.45	1.07
1	21	Q	0.01	130.37	130.40	130.40	130.41	0.020059	0.52	0.01	0.45	1.04
1	20	Q	0.01	130.35	130.38	130.38	130.39	0.013162	0.46	0.01	0.45	0.85
1	19	Q	0.01	130.33	130.37	130.37	130.38	0.010862	0.43	0.01	0.45	0.78
1	18	Q	0.01	130.32	130.34	130.34	130.36	0.022228	0.54	0.01	0.45	1.09
1	17	Q	0.01	130.30	130.32	130.32	130.34	0.020059	0.52	0.01	0.45	1.04
1	16	Q	0.01	130.28	130.30	130.30	130.32	0.019046	0.51	0.01	0.45	1.01
1	15	Q	0.01	130.26	130.29	130.29	130.30	0.018681	0.51	0.01	0.45	1.00
1	14	Q	0.01	130.24	130.27	130.27	130.28	0.018388	0.51	0.01	0.45	1.00
1	13	Q	0.01	130.22	130.25	130.25	130.26	0.018724	0.51	0.01	0.45	1.01
1	12	Q	0.01	130.20	130.23	130.23	130.24	0.019111	0.51	0.01	0.45	1.02
1	11	Q	0.01	130.18	130.21	130.21	130.22	0.022660	0.54	0.01	0.45	1.10
1	10	Q	0.01	130.17	130.19	130.19	130.20	0.018745	0.51	0.01	0.45	1.01
1	9	Q	0.01	130.15	130.17	130.17	130.19	0.019713	0.52	0.01	0.45	1.03
1	8	Q	0.01	130.13	130.15	130.15	130.17	0.019354	0.51	0.01	0.45	1.02
1	7	Q	0.01	130.11	130.14	130.14	130.15	0.013216	0.46	0.01	0.45	0.85
1	6	Q	0.01	130.09	130.12	130.12	130.13	0.011962	0.44	0.01	0.45	0.81
1	5	Q	0.01	130.07	130.10	130.10	130.11	0.010841	0.43	0.01	0.45	0.78
1	4	Q	0.01	130.06	130.10	130.08	130.11	0.005076	0.34	0.02	0.45	0.54
1	3	Q	0.01	130.06	130.08	130.08	130.10	0.023674	0.55	0.01	0.45	1.12
1	2	Q	0.01	130.00	130.05		130.05	0.002842	0.28	0.02	0.45	0.41
1	1	Q	0.01	130.00	130.04	130.03	130.05	0.005002	0.34	0.02	0.45	0.54

(Sumber : Perhitungan HEC-RAS 6.0)

Dari tabel perhitungan jari jari mercu 2 cm debit saluran didapatkan nilai froude pada river STA 3 – 33 yaitu $Fr < 1,00$ maka karakteristik aliran adalah subkritis. Sedangkan pada river STA 1 (di bagian hilir) di dapatkan nilai $Fr > 1,00$ maka aliran disebut aliran subkritis.

G. Perbandingan Pemodelan Laboratorium dan HEC-RAS

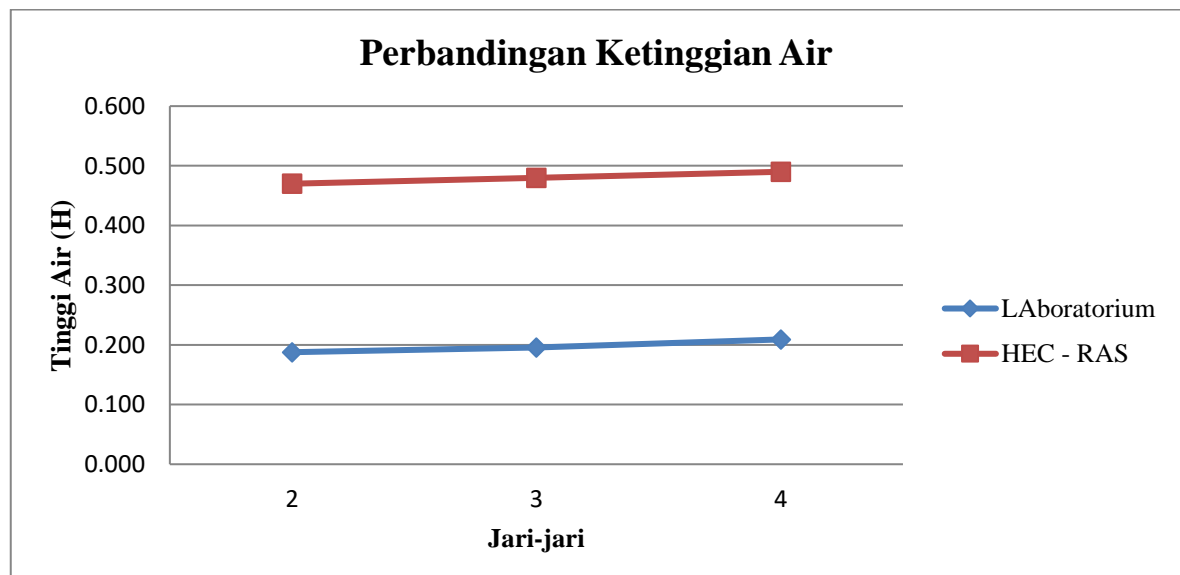
Dari data-data tersebut dapat dilakukan perbandingan untuk mengetahui apakah dari kedua pemodelan tersebut memiliki kesamaan atau tidak, berikut hasil perbandingan dapat dilihat dari tabel dibawah ini.

Tabel 5 Perbandingan Ketinggian Air, Bilangan Froude dan Kecepatan Aliran

Jari - jari 2							
Section	Debit m3/det	Tinggi Air (H) (m) Laboratorium	HEC - RAS	Froude Laboratorium	HEC - RAS	Kecepatan (v) (m/det) Laboratorium	HEC - RAS
1	0.0040	0.196	0.47	0.098	0.13	0.136	0.15
	0.0035	0.194		0.087			
	0.0030	0.192		0.075			
	0.0025	0.189		0.064			
	0.0020	0.187		0.053			
	0.0015	0.181		0.041			
	0.0010	0.175		0.029			
2	0.0040	0.011	0.0228	7.380	1.04	2.424	0.55
	0.0035	0.011		6.599			
	0.0030	0.011		5.818			
	0.0025	0.010		5.038			
	0.0020	0.010		4.257			
	0.0015	0.008		5.139			
	0.0010	0.005		6.020			

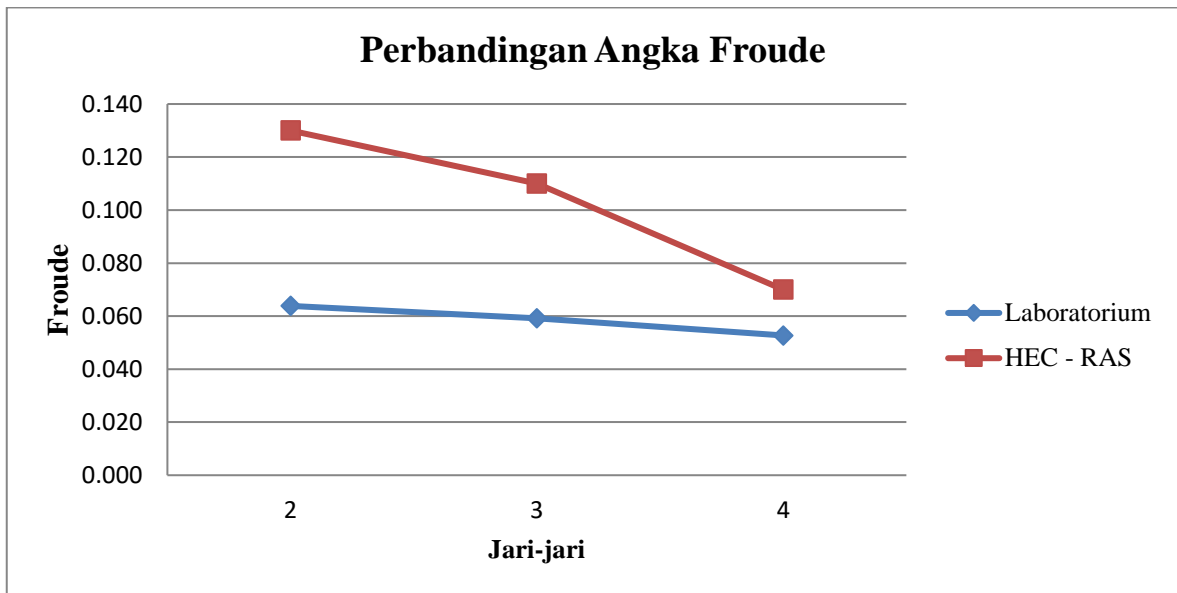
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Untuk lebih jelasnya dari tabel di atas dianalisa menggunakan grafik seperti berikut ini :

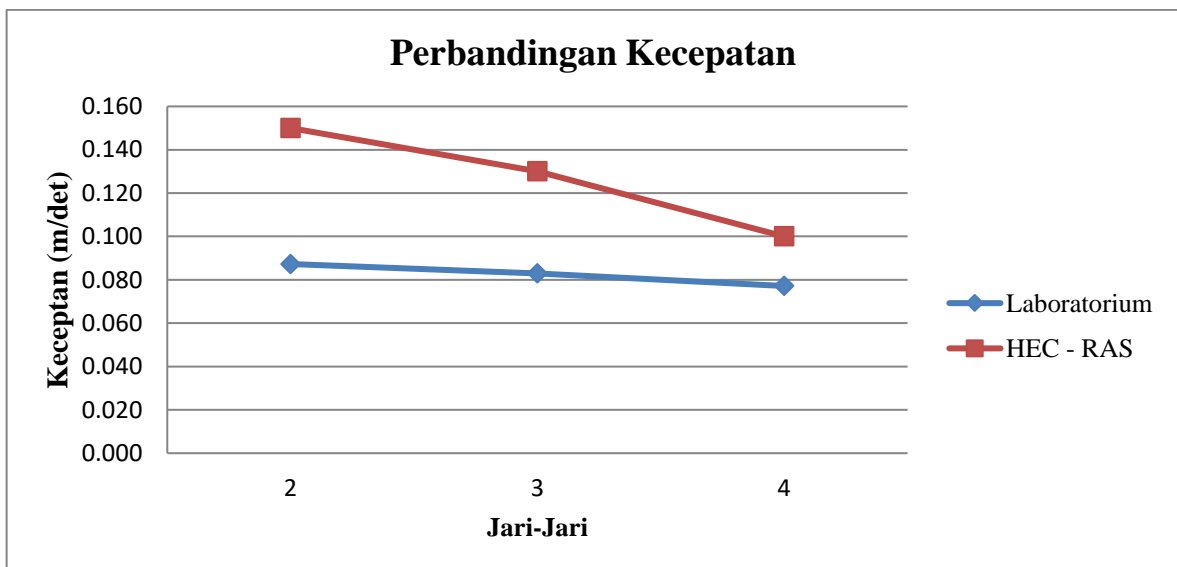


Gambar 16 Perbandingan Ketinggian Air

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)



Gambar 17 Perbandingan Angka Froude
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)



Gambar 18 Perbandingan Kecepatan
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Berdasarkan grafik perbandingan ketinggian air di atas untuk pengujian di laboratorium dan pemodelan pada aplikasi HEC-RAS di dapatkan hasil yang hampir serupa dimana setiap perubahan jari-jari untuk nilai tinggi air memiliki peningkatan, dimana penurunan terendah terjadi pada jari – jari 2 cm. Pada perbandingan bilangan Fr pada jari-jari 2 memiliki hasil bilangan froude paling

tinggi, dan untuk jari – jari 3 memiliki nilai bilangan froude paling rendah. Pada perbandingan kecepatan di jari-jari 2 memiliki nilai kecepatan tertinggi dimana penurunan kecepatan terendah terjadi pada jari-jari 3.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilaksanakan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh kecepatan aliran sangat mempengaruhi proses terjadinya loncatan hidrolis, Pengaruh kecepatan awal aliran didapatkan nilai yang paling tinggi yaitu pada jari-jari 2 dengan nilai V_0 0,136 m³/detik. Dan untuk V_2 didapatkan nilai paling tinggi yaitu pada Jari - jari 4 dengan nilai 2,667 m³/detik.
2. Pengaruh tinggi air terhadap bilangan froude memiliki hubungan dimana semakin kecil bilangan froude, maka di pengaruhi dengan bertambahnya kedalaman air dan menurunnya kecepatan aliran air. Kemudian dengan bertambahnya debit, bilangan froude yang dihasilkan semakin kecil. bilangan froude terbesar terjadi pada jari - jari 2 dengan nilai bilangan froude Laboratorium yaitu 5,750 dan untuk nilai bilangan Froude HEC – RAS pada jari jari 2 yaitu 1,04.

6. DAFTAR PUSTKA

- Anonim.2013.**Standart Perencanaan KP – 02.** Badan Penerbit Pekerjaan Umum,Jakarta
- Anonim.2013.**Standart Perencanaan KP – 03.** Badan Penerbit Pekerjaan Umum,Jakarta
- Anonim.2013.**Standart Perencanaan KP – 05.** Badan Penerbit Pekerjaan Umum,Jakarta
- Ardianto.2019 Evaluasi Perencanaan Bendung Gempal Di Desa Wirolegi Kecamatan Sumbersari Kabupaten Jember Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember.
- Anggraini, 1977, Hidrolika Saluran Terbuka, Citra Media, Surabaya.
- Bambang Triatmodjo, 1993, *Hidrolika I*, Beta Ofset, Yogyakarta

Dr. Ir. Nanang Saiful Rizal., ST.,MT.,IPM 2017, Perencanaan Bendung dan Bangunan Irigasi

Nur Fitriana.2014.Analisis Gerusan Di Hilir Bendung Tipe Vlughter.Universitas Brawijaya.Malang

Prastumi, 2009, Pengaruh Variasi Tipe Peredam Energi Terhadap Karakteristik Hidrolika Saluran Pelimpah Bendungan Studi Kasus Uji Model Pelimpah Bendungan Jhem – Bali, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang