

Analisis Jenis Aliran Dan Tipe Loncatan Pada Pintu Sorong Saluran Sekunder

Reynaldo Irvan Agustino¹, Sunik², Lila Khamelda³

^{1,2,3}Prodi Teknik Sipil - Universitas Katolik Widya Karya Malang, Indonesia

Alamat: Universitas Katolik Widya Karya Malang – Jl. Bondowoso No 2 Malang

*Korespondensi penulis: 202032915@widyakarya.ac.id

Abstract This study analyzes flow type and hydraulic jump type in a secondary channel based on the Froude number as the main parameter. The study used secondary data from a previous investigation by Sunik (2001) to examine the flow characteristics occurring through a sluice gate. The results show that in Channel 1, increasing discharge caused an increase in the Froude number, resulting in critical and supercritical flow conditions, with hydraulic jump types classified as undular and weak jumps. These conditions were particularly observed in sections 2, 3, and 4. In the other sections, the flow was subcritical ($Fr < 1$) and no hydraulic jump occurred. For water levels of 40–90 cm, the Froude number tended to decrease and approach 0.5, indicating subcritical flow without a jump. In contrast, at water levels of 10–30 cm, the Froude number increased and approached 2, indicating critical and supercritical flow accompanied by undular and weak hydraulic jumps. For flow velocities of 50–200 cm/s, the Froude number decreased and approached 1, indicating subcritical flow without a jump. For velocities of 250–400 cm/s, the Froude number increased and approached 2, indicating critical and supercritical flow. Based on the allowable flow velocity limit of 2 m/s, velocities of ≤ 200 cm/s in Channel 1 are considered safe because they remain in subcritical conditions and do not cause downstream erosion. In Channel 2, the analysis also shows that increasing discharge leads to an increase in the Froude number, with critical and supercritical flow conditions and undular and weak hydraulic jumps occurring in sections 8–9. In the other sections, the flow remains subcritical and no hydraulic jump occurs. In general, as water depth increases, both the Froude number and flow velocity decrease; conversely, as water depth decreases, both the Froude number and flow velocity increase.

Keywords: Froude number, Hydraulic jump, Secondary channel, Sluice gate, Subcritical flow.

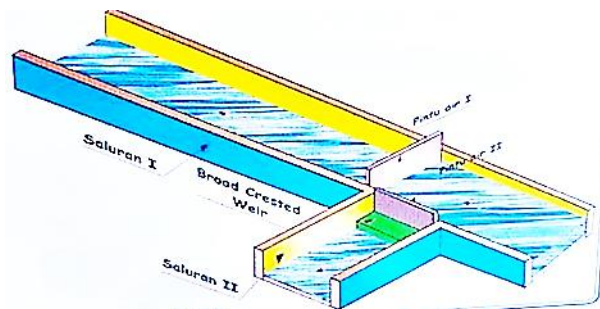
Abstrak Penelitian ini menganalisis jenis aliran dan tipe loncatan hidraulik pada saluran sekunder berdasarkan bilangan Froude sebagai parameter utama. Penelitian menggunakan data sekunder dari penelitian Sunik (2001) untuk mengkaji karakteristik aliran yang terjadi melalui pintu sorong (sluice gate). Hasil analisis menunjukkan bahwa pada Saluran 1, peningkatan debit menyebabkan kenaikan bilangan Froude, sehingga aliran berubah menjadi kritis dan superkritis, dengan tipe loncatan berupa loncatan berombak dan loncatan lemah. Kondisi ini terutama terjadi pada section 2, section 3, dan section 4. Pada section lainnya, aliran tergolong subkritis ($Fr < 1$) dan tidak terjadi loncatan hidraulik. Pada variasi tinggi muka air 40–90 cm, bilangan Froude cenderung menurun dan mendekati 0,5, sehingga menunjukkan aliran subkritis tanpa loncatan. Sebaliknya, pada tinggi muka air 10–30 cm, bilangan Froude meningkat hingga mendekati 2, yang menunjukkan aliran kritis dan superkritis, disertai loncatan berombak dan loncatan lemah. Pada kecepatan aliran 50–200 cm/detik, bilangan Froude menurun dan mendekati 1, yang menunjukkan aliran subkritis tanpa loncatan. Pada kecepatan 250–400 cm/detik, bilangan Froude meningkat hingga mendekati 2, menandakan aliran kritis dan superkritis. Berdasarkan batas kecepatan aliran yang diizinkan sebesar 2 m/detik, kecepatan ≤ 200 cm/detik pada Saluran 1 dinyatakan aman karena masih berada pada kondisi subkritis dan tidak menimbulkan erosi di hilir saluran. Pada Saluran 2, hasil analisis juga menunjukkan bahwa peningkatan debit menyebabkan kenaikan bilangan Froude, dengan aliran kritis dan superkritis serta loncatan berombak dan loncatan lemah pada section 8–9. Pada section lainnya, aliran tetap subkritis dan tidak terjadi loncatan hidraulik. Secara umum, semakin tinggi muka air maka bilangan Froude dan kecepatan aliran menurun, sedangkan semakin rendah muka air maka bilangan Froude dan kecepatan aliran meningkat.

Kata kunci: Bilangan Froude, Loncatan hidraulik, Saluran sekunder, Pintu sorong, Aliran subkritis

1. LATAR BELAKANG

Efisiensi penggunaan air yang tinggi pada irigasi dapat terwujud apabila manajemen operasional yang ditetapkan tepat sasaran dan dapat memperlancar jaringan irigasi, baik secara

kuantitas maupun kualitas. Jaringan irigasi yang dimaksud meliputi: saluran air, bangunan penangkap air, bangunan sadap, bangunan bagi hasil, alat ukur debit dan bangunan lainnya. (Kementrian PUPR, 2017). Saluran air untuk jaringan irigasi (saluran irigasi) berfungsi membawa dan menambah air ke saluran/daerah lain, pada umumnya saluran yang digunakan terbuat dari dinding tipis beton ber tulang. Berdasarkan prioritasnya, saluran irigasi dibagi menjadi 4 jenis, yaitu saluran primer, sekunder, tersier, dan triwulan. Saluran yang menjadi obyek penelitian adalah saluran sekunder berdasarkan data dari penelitian Sunik (2001) yang terdiri atas saluran 1 dan 2 sebagaimana yang terlihat pada Gambar I-1. Saluran sekunder berfungsi menyalurkan air irigasi dari saluran primer menuju petak tersier (Adminpu, 2020).



Gambar 1. Sketsa Saluran Sekunder
Sumber: Sunik (2001)

Pada umumnya, para teknisi hidraulika menganalisis perilaku dan kapasitas aliran yang melewati bangunan pintu air dengan menggunakan gerbang irigasi untuk mengontrol dan mengalirkan air keran ke saluran irigasi dan melalui kantong bubur. Dengan adanya pintu air irigasi, besar kecilnya air yang disadap dapat dikontrol dengan baik. Pintu air irigasi ini juga dapat digunakan untuk membendung sumber air dan digunakan untuk menyimpan air pada saat musim hujan dan saat air sungai mengalir dalam jumlah banyak atau melebihi kebutuhan. Pintu air umumnya digunakan pada saluran sekunder adalah pintu sorong.

Pintu sorong atau biasa disebut pintu air adalah sekat yang dapat diatur bukaanya. Pada sistem saluran irigasi, pintu geser biasanya ditempatkan pada *intake* dan bangunan untuk sadapan sekunder dan tersier. Fungsinya untuk mencegah sedimen terapung masuk ke pintu *intake* dan mengeluarkan sedimen yang menghalangi aliran. Aliran setelah sliding gate mengalami perubahan kondisi dari subcritical menjadi supercritical dimana pada lokasi yang lebih hilir akan terjadi hydraulic jump atau loncatan air. Lompatan air memiliki sifat aliran yang mengikis, adanya pintu geser menyebabkan kemungkinan terjadinya gerusan pada saluran hilir pintu geser. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan desain saluran hilir saluran agar tahan terhadap gerusan air akibat pintu geser. umumnya menggunakan perumusan empirik dan kurva standar walaupun pada kenyataan bangunan tersebut dalam pelaksanaannya mengalami perubahan guna penyesuaian dengan lokasinya (Safitri and Muhaimina, 2020).

Perubahan kondisi aliran akan menimbulkan ketidaksesuaian pada penggunaan kurva standar. Untuk mengetahui sejauh mana ketidaksesuaian tersebut, biasanya ditempuh melalui pendekatan uji model fisik dengan skala tertentu. Uji model fisik akan menghasilkan parameter berupa kecepatan aliran (v) dan kedalaman aliran (h). Dari parameter tersebut maka akan didapatkan angka Froude (Fr) yang dapat digunakan untuk menentukan karakteristik aliran berupa jenis aliran dan tipe loncatan (Roache, Ghia and White, 1986).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pintu Sorong (*Sluice Gate*)

Pintu geser adalah alat untuk mengontrol aliran di saluran terbuka yang akan menahan air di hulu dan memungkinkan aliran hilir melalui bagian bawah pintu dengan kecepatan tinggi. (Dake JMK, 1983).



Gambar 2. Pintu Sorong

Aliran hulu pintu setelah pintu geser merupakan aliran subkritis yang kemudian berakselerasi ketika melewati bagian bawah pintu atau sekat. Akibat percepatan yang dialami, aliran berubah secara tiba-tiba dari subkritis menjadi superkritis. Di lokasi yang lebih hilir, aliran akan mengalami semacam guncangan yang membuatnya kembali ke aliran subkritis. Di lokasi perubahan aliran superkritis menjadi aliran subkritis secara tiba-tiba, akan terjadi peristiwa yang disebut loncatan hidrolik. Lompatan air atau loncatan hidrolik biasanya sengaja dirancang untuk meredam energi dan memperlambat aliran sehingga tidak mengikis dasar saluran.

Pintu air dibangun dengan posisi memotong tanggul sungai yang berfungsi sebagai pengatur aliran air untuk drainase, keran dan pengatur lalu lintas air. Dilihat dari konstruksinya, secara umum pintu air dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pintu air saluran terbuka atau sluice gate dan pintu air saluran tertutup atau pintu air terowongan. Pintu air terowongan umumnya dibangun di atas sistem saluran air yang besar, sedangkan pintu air terowongan dibangun di atas sistem saluran air yang relatif kecil meskipun terkadang pintu air terowongan dibangun dengan ukuran yang cukup besar juga.

Pintu air bendungan terutama bangunan pengambilan di pakai untuk membuka, menutup dan mengurus aliran air. Bentuknya harus disamakan dengan tingkat tekanan air yang akan keluar. Beberapa jenis pintu air yang sering dipakai berdasarkan bentuk dan kegunaannya, meliputi:

A. Bentuk:

1. *Sliding Gate*, pintu ini banyak digunakan di gedung-gedung retrieval. Bentuknya sangat sederhana, untuk membuka dan menutup pintu cukup dengan menariknya ke atas dan ke bawah.
2. *High Pressure Slide Gate*, sama dengan sliding sluice gate tetapi didesain untuk high pressure, yaitu lebih dari 25 meter. Pintu ini juga banyak digunakan di gedung-gedung retrieval.
3. *Roller Gate*, Fixed Wheel Gate, berbentuk persegi panjang dan dibantu oleh beberapa roda untuk memudahkan membuka dan menutup. Digunakan untuk debit air yang lebih besar daripada pintu air geser. Pintu air ini banyak digunakan untuk bangunan gedung untuk menampung dan mengatur aliran air sungai di hilir waduk atau waduk alami (afterbay gates) agar debit air tidak banyak berubah.
4. Gerbang Batu, hampir sama dengan pintu air beroda, hanya rodanya lebih kecil dan lebih banyak.
5. *Caterpillar Sluice Gate (Roller Mounted Gate)*, cara memindahkannya menggunakan roda kecil yang jumlahnya banyak dan mengelilingi pintu karena sangat berat.
6. Gerbang Radial (Radial Gate, Tainter Gate), berupa lengkungan yang berputar di tengahnya. Banyak digunakan di bangunan spillway, jika debit melebihi batas, pintu akan terbuka sendiri secara otomatis.
7. *Flash Board Gate*, papan yang ditahan oleh engsel kabel, banyak digunakan di gedung pick-up. Saat menutup posisi pintu ke atas dan saat membuka pintu dimiringkan ke bawah.
8. *Drum Gate*, berupa lengkungan yang berputar pada engselnya. Hampir sama dengan pintu air radial, hanya saja saat dibuka daun pintunya bergerak ke bawah, sedangkan pintu air radial bergerak ke atas saat dibuka. Banyak digunakan untuk bangunan spillway dimana jika debit air melebihi batas tertentu maka pintu akan terbuka secara otomatis.
9. Gerbang Sektor, hampir sama dengan pintu air gendang, hanya karena lebih berat, dibantu dengan kabel dan winch untuk memudahkan membuka dan menutup pintu.
10. *Rolling Gate*, berbentuk lingkaran dengan sumbu horizontal, banyak digunakan untuk bangunan spillway. Pada saat membuka daun pintu bergerak ke atas dengan rantai yang ditarik oleh mesin penggerak melalui kabel.

11. *Ring Gate*, berapa banyak ring yang mengelilingi lubang inlet. Banyak digunakan untuk membangun spillway berbentuk sill melingkar (moming glory).
12. Gerbang Silinder, berbentuk silinder dengan poros vertikal. Pada saat membuka pintu ditarik ke atas, sebagian besar digunakan untuk pengambilan bangunan.
13. *Flap Gate*, berupa papan dengan engsel yang dipegang oleh kabel, dengan menarik kabel pintu dapat dibuka. Banyak digunakan untuk bangunan *intake* dan pintu air untuk pengiriman sungai atau kanal.
14. *Bear Trap Gate*, Double Flat Gate, berupa papan yang ditambah dengan penyangga dan dipegang oleh engsel, kegunaannya sama dengan pintu flao. Saat ditutup, daun pintu dimiringkan seperti halnya penyangga. Saat dibuka dengan bantuan engsel, daun pintu dan penyangganya berbentuk horizontal.
15. Stop Log, terdiri dari batang kayu atau besi yang disusun bertumpuk dari bawah ke atas sehingga lebih sederhana dan murah dibandingkan jenis pintu air lainnya. Digunakan di depan atau di belakang pintu air lainnya dengan maksud agar pintu air dapat diperiksa dan dirawat tepat waktu. Jika ada rembesan air, rembesan bisa ditutup dengan karet atau tanah liat.

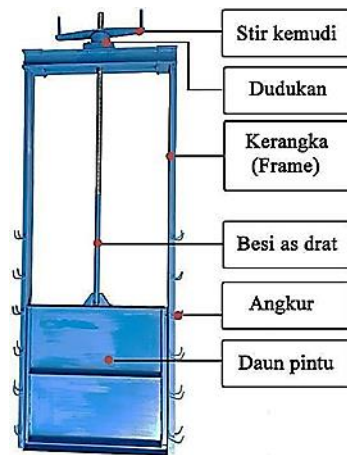
B. Fungsi:

1. Pintu Air Darurat, adalah pintu air cadangan yang digunakan ketika pintu air biasa tidak dapat dioperasikan. Banyak digunakan untuk bangunan pelimpah darurat.
2. *Regulatory Gate*, adalah pintu air yang dioperasikan pada tekanan air penuh untuk menahan aliran air.
3. Pintu Air Penjaga (*Guard Gate*), adalah pintu air yang bekerja secara penuh atau menutup penuh dan tidak dapat dioperasikan sebagian saja.
4. Pintu Keluar, adalah pintu air yang digunakan untuk membuka, mengatur dan menutup aliran air yang keluar dari waduk atau waduk alami.

Berdasarkan cara kerja dari pintu air, maka berikut adalah klasifikasinya:

1. Pintu Air *Single Horizontal*

Pintu air ini menggunakan daun pintu air yang ditarik menggunakan poros besi yang dikendalikan menggunakan roda kemudi. Pintu air ini tidak menggunakan sluice gear dan cara pengendaliannya adalah dengan memutar setir secara horizontal.



Gambar 3. Pintu Air *Single Horizontal*
Sumber: CV. Ortega Sakti (2022)

2. Pintu Air *Gearbox Single*

Pintu air ini menggunakan dudukan atau biasa disebut pangkon dan menggunakan pintu air. Pintu air menggunakan pintu yang diangkat menggunakan poros besi yang dihubungkan dengan pintu air yang dikendalikan oleh roda kemudi. Metode pengendalian pintu air ini lebih ringan dibandingkan dengan pintu air tunggal horizontal karena menggunakan pintu air yang dikendalikan menggunakan roda kemudi. Kemudi dikendalikan dengan cara memutar setir secara vertikal seperti memutar setir mobil atau kapal.



Gambar 4. Stir Kemudi Pintu Air *Gearbox Single*
Sumber: CV. Ortega Sakti (2022)

3. Pintu Air *Gearbox Double*

Pintu air ini menggunakan sistem mekanik yang mengangkat daun pintu dengan dua buah besi as drat. Pada pintu ini pengendaliannya lebih ringan karena menggunakan dua besi as untuk mengangkat daun pintu sehingga kekuatannya pun lebih besar. Cara mengendalikannya yaitu dengan memutar stir kemudi secara vertikal seperti memutar stir kemudi mobil ataupun kapal laut.



(a)



(b)

Gambar 5. Pintu Air (a) dan Stir Kemudi (b) *Gearbox Double*
Sumber: CV. Ortega Sakti (2022)

4. Pintu Air Klep Fiber

Pintu klep adalah jenis pintu air yang dapat bergerak berdasarkan tekanan air dengan ketinggian tertentu. Pada saat air pasang, pintu air akan menutup oleh pergerakan air pasang dan pada saat air surut pintu akan terbuka. Pintu air katup ini memiliki fungsi yang sama dengan pintu air biasa cocok dengan irigasi.



Gambar 6. Pintu Air Klep Fiber
Sumber: CV. Ortega Sakti (2022)

2.2 Angka Froude (Fr)

Froude number (FR) didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata dibagi dengan akar percepatan gravitasi dan tinggi muka air rata-rata, yang bertujuan untuk mengetahui dan menentukan jenis aliran yang terjadi pada saluran selama proses aliran dalam saluran dapat digambarkan dalam nomor froude. Bilangan Froude (Fr) merupakan parameter yang membedakan tiga jenis aliran, yaitu aliran kritis, subkritis dan superkritis. Bilangan Froude diperoleh dari perbandingan gaya inersia terhadap gaya gravitasi per satuan volume, persamaan yang mendefinisikan bilangan Froude dapat ditulis sebagai berikut:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{2.g.h}} \quad (1)$$

Dimana: Fr = bilangan Froude

v = kecepatan aliran (m/dtk)

g = percepatan gravitasi (m/dtk)

h = kedalaman aliran (m)

$$Q = A.v \quad (2)$$

Dimana: Q = debit aliran (m³/s)

A = luas saluran (m²)

$$A = b.h \quad (3)$$

Dimana: h = tinggi aliran (m)

b = lebar saluran (m)

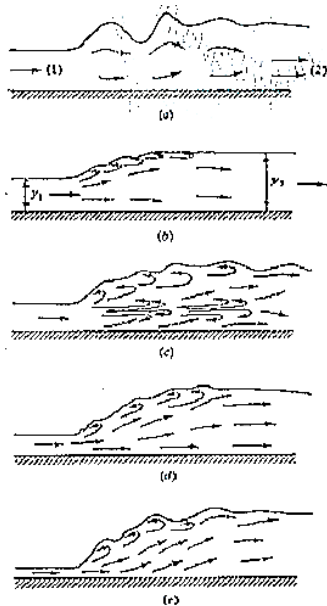
2.3 Jenis Aliran

Kodoatie (2009), Triatmodjo (2008), dan White (1986) menggunakan angka Froude untuk menentukan jenis aliran, yaitu:

1. Aliran kritis, adalah aliran yang mengalami gangguan permukaan, seperti yang disebabkan oleh riak-riak yang terjadi karena batu yang dilemparkan ke sungai tidak akan bergerak melawan arus. Aliran dapat dikategorikan aliran kritis jika bilangan Froude bernilai sama dengan satu ($Fr = 1$).
2. Aliran sub kritis, pada aliran ini biasanya kedalaman aliran lebih besar dari pada kecepatan aliran rendah, semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus. Jika jumlahnya kurang dari satu ($Fr < 1$), maka itu adalah aliran sub-kritis.
3. Persamaan untuk menghitung bilangan Froude, yaitu: Aliran super kritis, pada aliran ini kedalaman alirannya relatif lebih kecil dan kecepatannya relatif tinggi, semua riak akibat gangguan mengikuti arah arus. Jika bilangan Froude lebih besar dari satu ($Fr > 1$) maka aliran tersebut merupakan aliran super kritis.

2.4 Tipe Loncatan

Menurut White (1986) dan Chow (1989), bilangan Froude di bagian hulu merupakan inti dari parameter yang berpengaruh bagi kerja loncatan hidrolik yang menentukan klasifikasi tipe loncatannya. Adapun bilangan Reynolds serta bentuk salura yang memiliki pengaruh sekunder.



Gambar 7. Klasifikasi Loncatan Hidrolik berdasarkan bilangan Froude (a) $Fr = 1 - 1,7$; (b) $Fr = 1,7 - 2,5$; (c) $Fr = 2,5 - 4,5$; (d) $Fr = 4,5 - 9,0$; (e) $Fr > 9,0$
Sumber: White (1986)

Klasifikasi loncatan hidrolik berdasarkan angka Froude dapat dibedakan menjadi:

1. Tidak terjadi Loncatan ($Fr < 1$), dalam keadaan ini sulit terjadi loncatan, dikarenakan melanggar hukum kedua termodinamika.
2. Loncatan Berombak ($Fr = 1 - 1,7$), dalam keadaan ini akan terjadi loncatan gelombang tegak atau juga loncatan beralun kira-kira sepanjang $4y_2$, lesapannya $< 50\%$.
3. Loncatan Lemah ($Fr = 1,7 - 2,5$), dalam situasi ini permukaan halus bersamaan rotasi kecil yang disebut sebagai loncatan lemah, lesapan 5 - 15%.

4. Lompatan Berosilasi ($Fr = 2.5 - 4.5$), pada kondisi ini terjadi loncatan getar yang tidak stabil, setiap pulsa yang tidak beraturan menimbulkan gelombang besar yang dapat merambat ke hilir, bermil-mil, merusak tebing saluran dan sebagainya. -lainnya, tiriskan 15 - 45%. Jangan menggunakannya sebagai persyaratan desain bangunan.
5. Lompatan Mantap ($Fr = 4,5 - 9,0$), pada kondisi ini terjadi lompatan yang mantap dan seimbang; kinerja dan praktik terbaik tidak sensitif terhadap kondisi hilir. Ini adalah rentang desain yang bagus, menguras 45 - 70%.
6. Lompatan Kuat ($Fr > 9.0$) Pada kondisi ini lompatan yang terjadi kuat dan kasar yang terputus-putus namun memberikan performa yang baik, pelindian mencapai 70 - 85%.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yaitu metode analisis kuantitatif yang merupakan metode penelitian dengan pengolahan data sekunder (Dqlab, 2021). Adapun data sekunder didapatkan dari data primer yang merupakan penelitian dengan metode percobaan laboratorium. Menurut Sugiyono (2009) metode penelitian eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mengetahui pengaruh perlakuan tertentu terhadap perlakuan lain dalam kondisi yang terkendali.

3.2 Objek Penelitian

Saluran sekunder yang merupakan simulasi dari saluran irigasi yang diuji karakteristik alirannya menggunakan saluran buatan di laboratorium.

3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi : Laboratorium Hidrolika Universitas Brawijaya (Data Primer)

Waktu : 2001 (Data Primer), 2022 (Data Sekunder)

3.4 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian umumnya yaitu:

1. Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari uji simulasi fisik di laboratorium.
2. Data sekunder, yaitu data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang ada, baik yang telah dilakukan di laboratorium maupun yang dilakukan di tempat-tempat yang berhubungan dengan penelitian tentang pengaruh panjang loncatan air terhadap laju aliran menggunakan pintu geser.

Data yang digunakan berupa data sekunder berdasarkan penelitian Sunik (2001), meliputi:

1. Debit Air (Q), ditentukan, didapatkan dari kalkulasi dengan menggunakan data Kedalaman Air (h) dan Kecepatan Aliran (v).

2. Kedalaman Aliran (h), diukur dari 3 bagian yaitu bagian kiri, bagian tengah (As), dan bagian kanan dalam satuan cm. Alat ukur yg digunakan adalah mistar yang diukur dari dasar menuju pada permukaan air
3. Kecepatan Aliran (v), yang menggunakan flowatch diukur pada tiga titik pada pengukuran kedalaman air (h).

3.5 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan setelah mendapatkan data melalui metode pengumpulan data. Adapun pengolahan data terkait tujuan penelitian yaitu:

1. Mengetahui jenis aliran dan tipe loncatan berdasarkan angka Froude untuk saluran 1 untuk tiap *section*nya untuk debit yang telah ditentukan.
 - a. Data yang digunakan berupa kecepatan dan kedalaman air dikalkulasi untuk mendapat angka Froude dengan menggunakan rumus (1) pada subbab 2.2.
 - b. Berdasarkan angka Fr maka akan dapat ditentukan jenis aliran dan tipe loncatan sebagaimana yang tercantum pada subbab 2.2.
2. Idem dengan poin (1), untuk saluran 2.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data

Data yang dipakai untuk penelitian ini yaitu data sekunder dari peneliti terdahulu yaitu Sunik (2001). Data sekunder yang dimaksud yaitu tinggi muka air (h, cm), kecepatan aliran (v, cm/detik, kecepatan diperoleh melalui pengukuran slice kiri, as dan kanan. Pengukuran tiap slice diambil atas, tengah, kanan. Sehingga untuk satu slice kecepatan digunakan sembilan kali pengambilan data kecepatan. Untuk saluran 1 dari 5 variasi terdapat 7 *section*, tiap *section* diukur per slice sebanyak 9 kali, sehingga untuk saluran 1 memerlukan 9 (kiri,as,kanan, atas,tengah, bawah) x 7 (*section*) x 5 (variasi debit) = 315 kali pengukuran kecepatan, dan debit (Q, l/det). Debit pada saluran 1 yaitu 115,89/233,37/,311,69/389,61/467,49 liter/detik. Debit pada saluran 2 yaitu 115,89/233,37/,311,69/389,61/467,49 liter/detik.

Di awal penelitian, semula debit ditetapkan terlebih dahulu dengan variasi bukaan pintu. Pada saat pelaksanaan, dengan penetapan debit terlebih dahulu, tidak diperoleh loncatan hidraulik yang diinginkan, terjadi kondisi aliran bebas saja (tidak terjadi loncatan hidraulik), terjadi kondisi aliran tenggelam dan debit meluap melampaui ukuran saluran. Berdasar hal tersebut maka cara kerja dibalik, yaitu bukaan pintu ditetapkan terlebih dahulu ($a_1 = 6$ cm, $a_2 = 6$ cm) dan dicoba sistem trial error debit yang mengalir untuk mendapatkan/sampai diperoleh loncatan hidraulik.

Pada saluran 1 debit sering lebih besar dari saluran 2, karena disebabkan pada saluran 1 tidak terdapat ambang untuk meredam aliran, sedangkan saluran 2 yang merupakan saluran belokan dengan peredam ambang datar memperoleh debit sekitar 0,3 atau 0,5 dari saluran 1. Untuk mendapatkan nilai debit pada 1 *section* dibutuhkan waktu sekitar 2 – 3 jam sampai diperoleh debit stabil untuk diukur. Data sekunder selengkapnya ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Saluran 1

No.	Q (l/dtk)	Section	h (cm)	v (cm/dtk)	No.	Q (l/dtk)	Section	h (cm)	v (cm/dtk)
1	155,89	1	45,5	35,16	4	389,61	1	76	93,65
		2	13	130,7			2	20,6	345,8
		3	18	94,28			3	29,5	241,6
		4	19,6	85,4			4	31,3	227,3
		5	21,1	80,83			5	32,8	217,4
		6	22,1	77,1			6	34,1	208,8
		7	24,5	69,47			7	35,3	202,3
2	233,37	1	50,3	58,43	5	467,49	1	81,2	108,5
		2	17	204			2	21,6	402,3
		3	21,4	162,2			3	31,6	267,1
		4	24	144,8			4	33,9	265,8
		5	25,5	136,4			5	35,8	242,6
		6	26,4	131,3			6	37	240,2
		7	27,1	128,4			7	38,4	230,2
3	311,69	1	66,8	78,61					
		2	18,5	283,9					
		3	27	194,5					
		4	29,4	178,5					
		5	31	169,5					
		6	31,9	164,6					
		7	32,6	161,1					

Sumber: Sunik (2001)

Tabel 2. Data Saluran 2

No.	Q (l/dtk)	Section	h (cm)	v (cm/dtk)	No.	Q (l/dtk)	Section	h (cm)	v (cm/dtk)
1	155,89	1	48,5	45,39	4	389,61	1	76	34,31
		2	48,5	45,39			2	76	34,31
		3	48,5	45,39			3	76	34,31
		4	15,5	45,39			4	43	34,31
		5	4,02	59,43			5	5,43	68,19
		6	3,33	60,41			6	4,74	69,47
		7	9,6	228,7			7	20	131,1
		8	9,54	230,2			8	19	137,7
		9	9	244,1			9	18,3	142,9
		10	7,95	276,3			10	18	145,6

No.	Q (l/dtk)	Section	h (cm)	v (cm/dtk)	No.	Q (l/dtk)	Section	h (cm)	v (cm/dtk)
		11	7,92	277,5			11	17,9	146,2
		12	7,89	278,4			12	17,9	147
2	233,37	1	59,3	39,87	5	467,49	1	61,2	35,16
		2	59,3	39,87			2	61,2	35,16
		3	59,3	39,87			3	61,2	35,16
		4	26,3	39,87			4	48,2	35,16
		5	4,53	63,27			5	6	72,38
		6	3,99	64,19			6	5,43	73,99
		7	12	198			7	22,1	128,2
		8	11,8	202,1			8	21,3	133,1
		9	11,6	204,1			9	21	134,1
		10	11,2	211,8			10	20,6	137,2
		11	11,1	214			11	20,4	139
		12	11,1	214,7			12	20,1	141,1
3	311,69	1	66,8	37,59					
		2	66,8	37,59					
		3	66,8	37,59					
		4	33,8	37,59					
		5	4,92	66,88					
		6	4,53	67,76					
		7	17	149,6					
		8	16,5	154					
		9	16,4	154,8					
		10	15	169,7					
		11	14,9	170,2					
		12	14,9	170,2					

Sumber: Sunik (2001)

Data sekunder pada saluran 1 dan 2 yang digunakan untuk analisis adalah data yang terukur berdasar debit stabil hasil pengamatan. Untuk debit berupa aliran free flow dengan loncatan hidraulik yang tipis, aliran meluap melalui saluran, aliran tenggelam (dengan penambahan gangguan di hilir saluran) tidak dianalisis dalam penelitian ini.

4.2 Analisis dan Pembahasan Angka Froude (Fr) pada Saluran 1

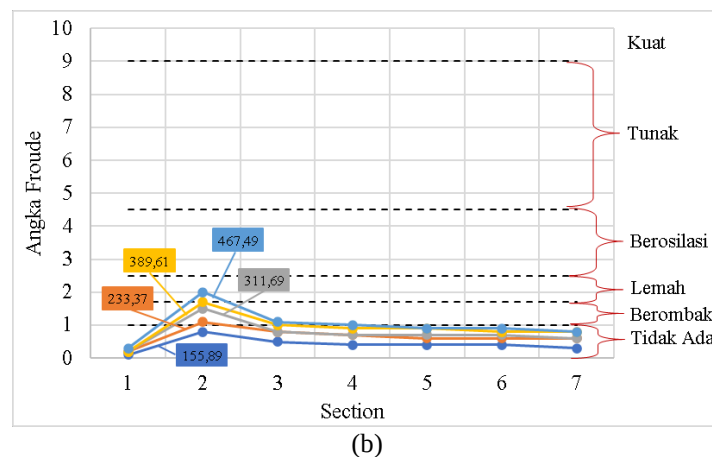
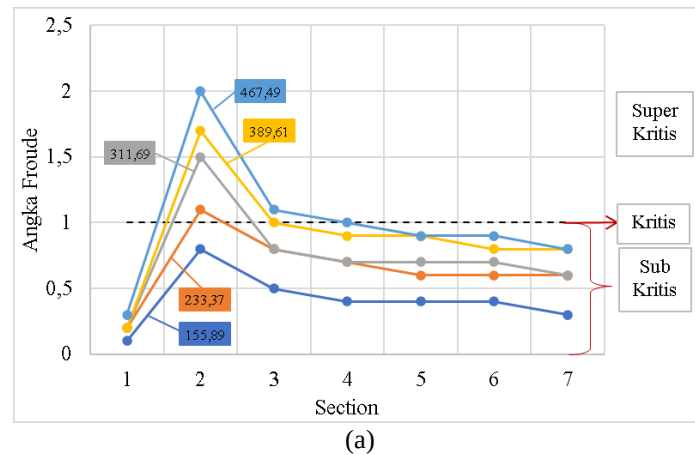
Setelah mendapatkan data tinggi muka air (h), kecepatan (v) dan debit (Q) pada Tabel 1 dan Tabel 2, selanjutnya dilakukan perhitungan angka Froude (Fr) untuk menentukan jenis aliran yang terjadi pada setiap *section* termasuk aliran subkritis ($Fr < 1$), kritis ($Fr = 1$) atau superkritis ($Fr > 1$). Perhitungan selengkapnya ditampilkan dalam Tabel 3. Sedangkan cara perhitungan angka Froude tersebut sebagai berikut:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h}} = \frac{35,16}{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 45,5}} = 0,1$$

Hasil perhitungan angka Froude beserta jenis aliran dan tipe loncatan saluran 1 sebagaimana yang tercantum pada Tabel 3. berikut.

Tabel 3. Karakteristik Aliran Saluran 1

No.	Q (l/dtk)	Section	h (cm)	v (cm/dtk)	Fr	Jenis Aliran	Tipe Loncatan
1	155,89	1	45,5	35,16	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		2	13	130,7	0,80	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		3	18	94,28	0,50	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		4	19,6	85,4	0,40	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		5	21,1	80,83	0,40	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		6	22,1	77,1	0,40	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		7	24,5	69,47	0,30	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
2	233,37	1	50,3	58,43	0,20	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		2	17	204	1,10	Super Kritis	Loncatan Berombak
		3	21,4	162,2	0,80	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		4	24	144,8	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		5	25,5	136,4	0,60	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		6	26,4	131,3	0,60	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		7	27,1	128,4	0,60	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
3	311,69	1	66,8	78,61	0,20	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		2	18,5	283,9	1,50	Super Kritis	Loncatan Berombak
		3	27	194,5	0,80	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		4	29,4	178,5	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		5	31	169,5	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		6	31,9	164,6	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		7	32,6	161,1	0,60	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
4	389,61	1	76	93,65	0,20	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		2	20,6	345,8	1,70	Super Kritis	Loncatan Berombak
		3	29,5	241,6	1,00	Kritis	Loncatan Berombak
		4	31,3	227,3	0,90	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		5	32,8	217,4	0,90	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		6	34,1	208,8	0,80	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		7	35,3	202,3	0,80	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
5	467,49	1	81,2	108,5	0,30	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		2	21,6	402,3	2,00	Super Kritis	Loncatan Lemah
		3	31,6	267,1	1,10	Super Kritis	Loncatan Berombak
		4	33,9	265,8	1,00	Kritis	Loncatan Berombak
		5	35,8	242,6	0,90	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		6	37	240,2	0,90	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		7	38,4	230,2	0,80	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan



Gambar 8. Tipe Loncatan berdasarkan Angka Froude pada Saluran 1

Pada saat model 1 yaitu debit = 155,89 liter/detik, angka Froude berada pada range 0,1 – 0,8 ($Fr < 1$) sehingga jenis aliran pada model 1 ini termasuk aliran subkritis dan tidak terjadi loncatan hidraulik.

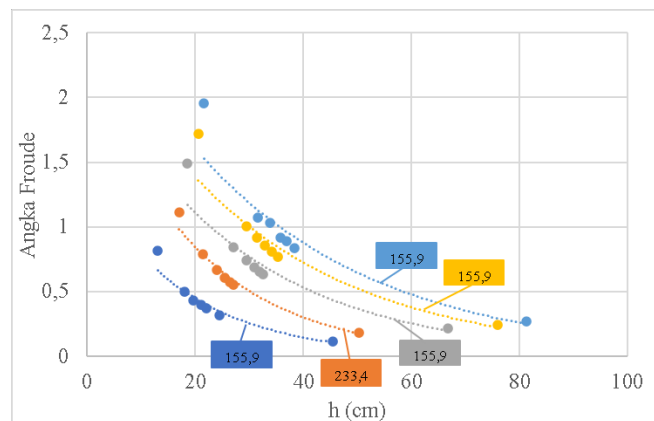
Pada saat model 2 yaitu debit = 233,37 liter/detik, angka Froude berada pada range 0,2 – 1,1 ($Fr < 1$ dan $Fr > 1$), jenis aliran pada model 2 ini termasuk aliran subkritis dan 1 aliran superkritis yaitu pada saat tinggi muka air = 17 cm dan kecepatan = 204 cm/detik. Aliran kritis ini disebabkan karena adanya tekanan air yang besar pada saat pintu air dibuka sehingga terjadilah loncatan berombak.

Pada saat model 3 yaitu debit = 311,69 liter/detik, angka Froude berada pada range 0,2 – 1,5 ($Fr < 1$ dan $Fr > 1$), jenis aliran pada model 3 ini termasuk aliran subkritis dan 1 aliran superkritis yaitu pada saat tinggi muka air = 18,5 cm dan kecepatan = 283,9 cm/detik. Sama seperti model 2, loncatan berombak terjadi pada *section 2* model 3.

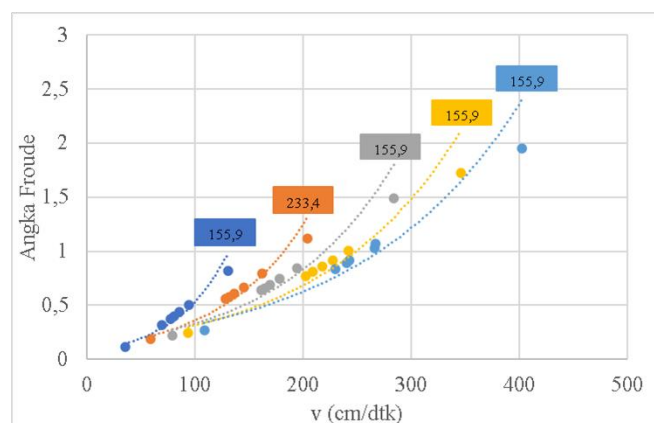
Pada saat model 4 yaitu debit = 389,61 liter/detik, angka Froude berada pada range 0,2 – 1,7 ($Fr < 1$ dan $Fr > 1$), jenis aliran pada model 4 ini termasuk aliran subkritis dan 1 aliran superkritis yaitu pada saat tinggi muka air = 20,6 cm dan kecepatan = 345,8 cm/detik. Sama seperti model 2 dan model 3, loncatan berombak terjadi pada *section 2* model 4.

Pada saat model 5 yaitu debit = 467,49 liter/detik, angka Froude berada pada range 0,3 – 2,2 ($Fr < 1$, $Fr = 1$ dan $Fr > 1$), jenis aliran pada model 5 ini termasuk aliran subkritis, 1 aliran kritis dan 2 aliran superkritis. yaitu pada saat tinggi muka air = 21,6 cm dan kecepatan = 400,2 cm/detik. Sama seperti model 2, model 3, dan model 4, loncatan berombak terjadi pada *section* 3 dan 4 model 5. Sedangkan loncatan lemah terjadi pada *section* 2.

Gambar profil loncatan hidraulik berdasar *section* ditampilkan dalam Gambar 8. (a) dan Gambar (b). Pada saluran 1 ini dapat disimpulkan bahwa seiring dengan bertambahnya debit, terdapat peningkatan nilai angka Froude (Fr) dengan jenis aliran kritis dan superkritis serta tipe loncatan yaitu berombak dan loncatan lemah. Hal ini khusus terjadi pada *section* 2, *section* 3 dan *section* 4. Sedangkan *section* yang lain, jenis aliran adalah subkritis ($Fr < 1$) dan tidak terjadi loncatan hidraulik.



Gambar 9. Hubungan antara h dengan Fr untuk Saluran 1



Gambar 10. Hubungan antara v dengan Fr untuk Saluran 1

Gambar 9. memperlihatkan hubungan antar tinggi muka air (h) dan angka Froude (Fr). Pada kelima variasi debit tersebut, semakin tinggi muka air (kisaran 40 – 90 cm, angka Froude semakin kecil nilainya, mendekati 0,5 ($Fr < 1$), menunjukkan aliran subkritis, tidak terjadi loncatan. Semakin rendah tinggi muka air (kisaran 10 – 30 cm), angka Froude semakin besar nilainya, mendekati 2 ($Fr > 1$), menunjukkan aliran kritis dan subkritis, terjadi loncatan berombak dan loncatan lemah.

Gambar 10. menunjukkan grafik hubungan antara kecepatan (v) dan angka Froude (Fr). Pada kelima variasi debit tersebut, kecepatan pada range 50 – 200 cm/detik, angka Froude semakin kecil nilainya, mendekati 1 ($Fr < 1$), menunjukkan aliran subkritis, tidak terjadi loncatan. Kecepatan pada range 250 – 400 cm/det, angka Froude semakin besar nilainya, mendekati 2 ($Fr > 1$), menunjukkan aliran kritis dan subkritis, terjadi loncatan berombak dan loncatan lemah. Sesuai batasan kecepatan pengaliran yang diijinkan yaitu 2 m/detik maka pada saluran tersebut kecepatan ≤ 200 cm/detik dengan kondisi aliran subv kritis dan tidak terjadi loncatan menunjukkan keamanan pengaliran (tidak menimbulkan erosi di hilir saluran).

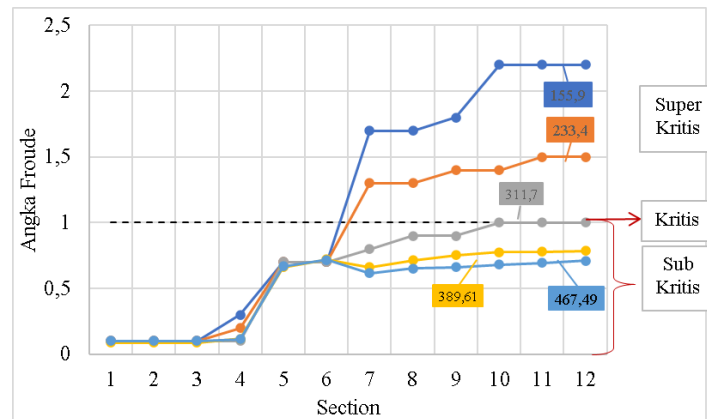
4.3 Analisis dan Pembahasan Angka Froude (Fr) pada Saluran 2

Mengacu pada perhitungan pada sub bab 4.1, analisis angka Froude, jenis aliran dan tipe loncatan selengkapnya sudah ditampilkan dalam Tabel 3, maka untuk hasil perhitungan angka Froude beserta jenis aliran dan tipe loncatan saluran 2 akan ditampilkan pada Tabel 4. berikut.

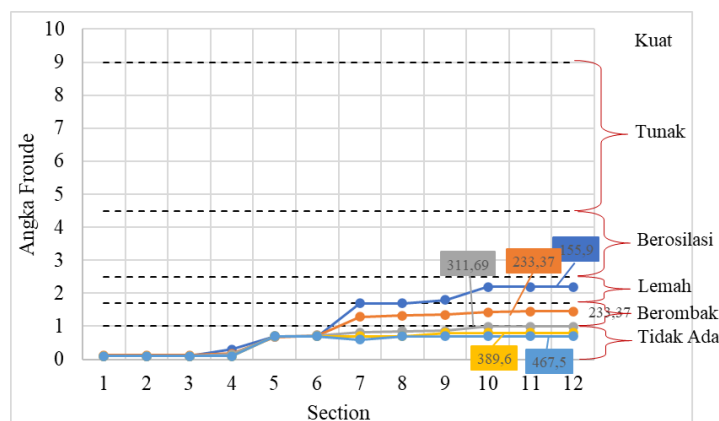
Tabel 4. Karakteristik Aliran Saluran 2

No.	Q (l/dtk)	Section	h (cm)	v (cm/dtk)	Fr	Jenis Aliran	Tipe Loncatan
1	155,9	1	48,5	45,39	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		2	48,5	45,39	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		3	48,5	45,39	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		4	15,5	45,39	0,30	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		5	4,02	59,43	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		6	3,33	60,41	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		7	9,6	228,7	1,70	Super Kritis	Loncatan Berombak
		8	9,54	230,2	1,70	Super Kritis	Loncatan Berombak
		9	9	244,1	1,80	Super Kritis	Loncatan Lemah
		10	7,95	276,3	2,20	Super Kritis	Loncatan Lemah
		11	7,92	277,5	2,20	Super Kritis	Loncatan Lemah
		12	7,89	278,4	2,20	Super Kritis	Loncatan Lemah
2	233,4	1	59,3	39,87	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		2	59,3	39,87	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		3	59,3	39,87	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		4	26,3	39,87	0,20	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		5	4,53	63,27	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		6	3,99	64,19	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		7	12	198	1,30	Super Kritis	Loncatan Berombak
		8	11,8	202,1	1,30	Super Kritis	Loncatan Berombak
		9	11,6	204,1	1,40	Super Kritis	Loncatan Berombak
		10	11,2	211,8	1,40	Super Kritis	Loncatan Berombak
		11	11,1	214	1,50	Super Kritis	Loncatan Berombak
		12	11,1	214,7	1,50	Super Kritis	Loncatan Berombak
3	311,7	1	66,8	37,59	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan

		2	66,8	37,59	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		3	66,8	37,59	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		4	33,8	37,59	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		5	4,92	66,88	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		6	4,53	67,76	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		7	17	149,6	0,80	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		8	16,5	154	0,90	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		9	16,4	154,8	0,90	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		10	15	169,7	1,00	Kritis	Loncatan Berombak
		11	14,9	170,2	1,00	Kritis	Loncatan Berombak
		12	14,9	170,2	1,00	Kritis	Loncatan Berombak
4	389,6	1	76	34,31	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		2	76	34,31	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		3	76	34,31	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		4	43	34,31	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		5	5,43	68,19	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		6	4,74	69,47	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		7	20	131,1	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		8	19	137,7	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		9	18,3	142,9	0,80	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		10	18	145,6	0,80	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		11	17,9	146,2	0,80	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		12	17,9	147	0,80	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
5	467,5	1	61,2	35,16	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		2	61,2	35,16	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		3	61,2	35,16	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		4	48,2	35,16	0,10	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		5	6	72,38	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		6	5,43	73,99	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		7	22,1	128,2	0,60	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		8	21,3	133,1	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		9	21	134,1	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		10	20,6	137,2	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		11	20,4	139	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan
		12	20,1	141,1	0,70	Sub Kritis	Tidak Terjadi Loncatan



Gambar 11. Jenis Aliran berdasarkan Angka Froude pada Saluran 2



Gambar 12. Tipe Loncatan berdasarkan Angka Froude pada Saluran 2

Pada saat model 1 yaitu debit = 155,9 liter/detik, angka Froude berada pada range 0,1 – 2,2 ($Fr < 1$ dan $Fr > 1$) sehingga jenis aliran pada model 1 ini termasuk aliran subkritis dan tidak terjadi loncatan hidraulik (*section 1-6*). Pada *section 7 – 12*, jenis aliran superkritis dan terjadi loncatan berombak-lemah

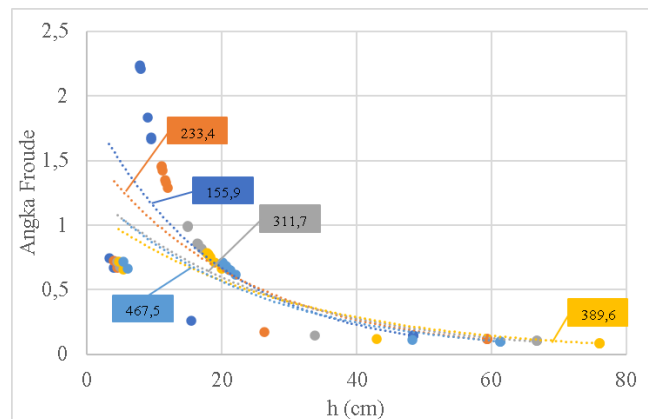
Pada saat model 2 yaitu debit = 233,37 liter/detik, angka Froude berada pada range 0,1 – 1,3 ($Fr < 1$ dan $Fr > 1$), jenis aliran pada model 2 ini termasuk aliran subkritis dan 1 aliran superkritis yaitu pada saat tinggi muka air = 12 cm dan kecepatan = 198 cm/detik. Aliran kritis ini disebabkan karena adanya tekanan air yang besar pada saat pintu air dibuka sehingga terjadilah loncatan berombak.

Pada saat model 3 yaitu debit = 311,69 liter/detik, angka Froude berada pada range 0,1 – 1 ($Fr < 1$ dan $Fr = 1$), jenis aliran pada model 3 ini termasuk aliran subkritis, tidak terjadi loncatan dan 3 aliran kritis yaitu pada saat tinggi muka air = 15 cm dan kecepatan = 169,7 – 170,2 cm/detik, loncatan berombak.

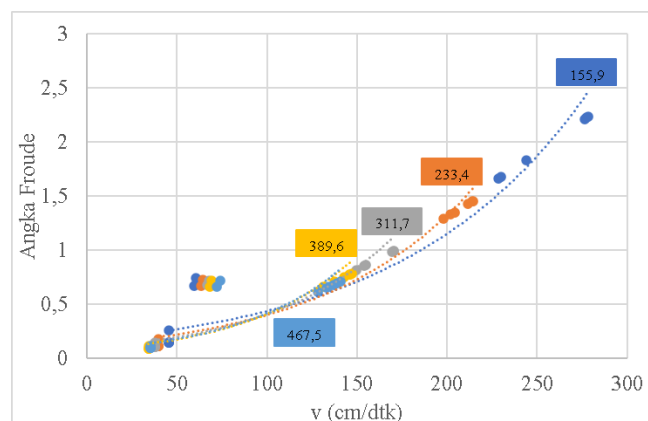
Pada saat model 4 yaitu debit = 389,6 liter/detik, angka Froude berada pada range 0,1 – 0,8 ($Fr < 1$), jenis aliran pada model 4 ini semua termasuk aliran subkritis dan tidak terjadi loncatan hidraulik.

Pada saat model 5 yaitu debit = 467,5 liter/detik, angka Froude berada pada range 0,1 – 0,7 ($Fr < 1$), jenis aliran pada model 5 ini semua termasuk aliran subkritis, tidak terjadi loncatan hidraulik.

Gambar profil loncatan hidraulik berdasar *section* ditampilkan dalam Grafik 11 dan Gambar 12. Pada saluran 2 ini dapat disimpulkan bahwa seiring dengan bertambahnya debit, terdapat peningkatan nilai angka Froude (Fr) dengan jenis aliran kritis dan superkritis serta tipe loncatan yaitu berombak dan loncatan lemah. Hal ini khusus terjadi pada *section* 8-9. Sedangkan *section* yang lain, jenis aliran adalah subkritis ($Fr < 1$) dan tidak terjadi loncatan hidraulik.



Gambar 13. Hubungan Antara h dengan Fr untuk Saluran 2



Gambar 14. Hubungan Antara h dengan Fr untuk Saluran 2

Gambar 13. menunjukkan hubungan antara tinggi muka air (h) dan angka Froude (Fr). Pada kelima variasi debit tersebut, semakin tinggi muka air (kisaran 20 – 80 cm, angka Froude semakin kecil nilainya, mendekati 0,5 ($Fr < 1$), menunjukkan aliran subkritis, tidak terjadi loncatan. Semakin rendah tinggi muka air (kisaran 10 – 15 cm), angka Froude semakin besar nilainya, mendekati 2,5 ($Fr > 1$), menunjukkan aliran kritis dan subkritis, terjadi loncatan berombak dan loncatan lemah.

Gambar 14. menunjukkan grafik hubungan antara kecepatan (v) dan angka Froude (Fr). Pada kelima variasi debit tersebut, kecepatan pada range 50 – 150 cm/detik, angka Froude

semakin kecil nilainya, mendekati 1 ($Fr < 1$), menunjukkan aliran subkritis, tidak terjadi loncatan. Kecepatan pada range 200 – 300 cm/det, angka Froude semakin besar nilainya, mendekati 2,5 ($Fr > 1$), menunjukkan aliran kritis dan subkritis, terjadi loncatan berombak dan loncatan lemah. Sesuai batasan kecepatan pengaliran yang diijinkan yaitu 2 m/detik maka pada saluran tersebut kecepatan ≤ 200 cm/detik dengan kondisi aliran subkritis dan tidak terjadi loncatan menunjukkan keamanan pengaliran (tidak menimbulkan erosi di hilir saluran).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian pada bab IV penulis dapat menyimpulkan yaitu:

1. Pada saluran 1: seiring dengan bertambahnya debit, terdapat peningkatan nilai angka Froude (Fr) dengan jenis aliran kritis dan superkritis serta tipe loncatan yaitu berombak dan loncatan lemah. Hal ini khusus terjadi pada *section 2*, *section 3* dan *section 4*. Sedangkan *section* yang lain, jenis aliran adalah subkritis ($Fr < 1$) dan tidak terjadi loncatan hidraulik. Pada kelima variasi debit tersebut, semakin tinggi muka air (kisaran 40 – 90 cm, angka Froude semakin kecil nilainya, mendekati 0,5 ($Fr < 1$), menunjukkan aliran subkritis, tidak terjadi loncatan. Semakin rendah tinggi muka air (kisaran 10 – 30 cm), angka Froude semakin besar nilainya, mendekati 2 ($Fr > 1$), menunjukkan aliran kritis dan subkritis, terjadi loncatan berombak dan loncatan lemah. kecepatan pada range 50 – 200 cm/detik, angka Froude semakin kecil nilainya, mendekati 1 ($Fr < 1$), menunjukkan aliran subkritis, tidak terjadi loncatan. Kecepatan pada range 250 – 400 cm/det, angka Froude semakin besar nilainya, mendekati 2 ($Fr > 1$). Sesuai batasan kecepatan pengaliran yang diijinkan yaitu 2 m/detik maka pada saluran tersebut kecepatan ≤ 200 cm/detik dengan kondisi aliran subkritis dan tidak terjadi loncatan menunjukkan keamanan pengaliran (tidak menimbulkan erosi di hilir saluran). Dapat disimpulkan bila tinggi muka $h \uparrow$, maka angka $Fr \uparrow$, nilai kecepatan $v \uparrow$ demikian pula sebaliknya.
2. Pada saluran 2 ini dapat disimpulkan bahwa seiring dengan bertambahnya debit, terdapat peningkatan nilai angka Froude (Fr) dengan jenis aliran kritis dan superkritis serta tipe loncatan yaitu berombak dan loncatan lemah. Hal ini khusus terjadi pada *section 8-9*. Sedangkan *section* yang lain, jenis aliran adalah subkritis ($Fr < 1$) dan tidak terjadi loncatan hidraulik. semakin tinggi muka air (kisaran 20 - 80 cm, angka Froude semakin kecil nilainya, mendekati 0,5 ($Fr < 1$), menunjukkan aliran subkritis, tidak terjadi loncatan. Semakin rendah tinggi muka air (kisaran 10 – 15 cm), angka Froude semakin besar nilainya, mendekati 2,5 ($Fr > 1$), menunjukkan aliran kritis dan subkritis, terjadi loncatan berombak dan loncatan lemah. kecepatan pada range 50 – 150 cm/detik, angka Froude

semakin kecil nilainya, mendekati 1 ($Fr < 1$), menunjukkan aliran subkritis, tidak terjadi loncatan. Kecepatan pada range 200 – 300 cm/det, angka Froude semakin besar nilainya, mendekati 2,5 ($Fr > 1$), menunjukkan aliran kritis dan subkritis, terjadi loncatan berombak dan loncatan lemah. Sesuai batasan kecepatan pengaliran yang diijinkan yaitu 2 m/detik maka pada saluran tersebut kecepatan ≤ 200 cm/detik dengan kondisi aliran subkritis dan tidak terjadi loncatan menunjukkan keamanan pengaliran (tidak menimbulkan erosi di hilir saluran).

5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat ditarik saran yaitu:

1. Untuk penelitian lanjutan dapat dilakukan analisis terhadap debit rencana dan debit empiris dan perhitungan nilai koreksi (k).
2. Dapat dilakukan model pengembangan dengan penambahan ambang lebar pada saluran 1 (saluran 1 dari penelitian terdahulu, tidak menggunakan ambang).
3. Perhitungan energi relatif dan energi peredam untuk setiap variasi debit dan variasi bukaan pintu.

DAFTAR REFERENSI

- Adminpu (2020) Mengenal Bangunan Irigasi: Saluran Pembawa. Available at: <https://dpu.kulonprogokab.go.id/detil/356/mengenal-bangunan-irigasi-saluran-pembawa>.
- Anonim (2020) Pintu Air Irigasi.
- CV. Ortega Sakti (2022) Pengertian Pintu Air Engkel dan Bagian-Bagiannya. Dake JMK (1983) Hidrolika Teknik. Surabaya: Teruna Grafica.
- Dqlab (2021) Jenis Metode Analisis Data. Available at: <https://www.dqlab.id/4-metode-analisis-beserta-tahap-dalampenelitian#:~:text=Metode analisis data kuantitatif mempunyai,yang terkumpul dari data sekunder>.
- Kementrian PUPR (2017) latihan Operasi dan Penjagaan Irigasi Tingkat Juru. Bandung.
- Roache, P. j., Ghia, K. N. and White, F. M. (1986) 'Editorial policy statement on the control of numerical accuracy', Journal of Fluid Engineering, 108(1), pp. 153–164.
- Safitri, M. and Muhaimina (2020) Pengaruh Debit Aliran kepada lamanya Loncatan Air dengan Menggunakan Ambang. Makassar.
- Sunik (2001) No Title. Universitas Brawijaya.
- Te, C. V. (1989). Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydrolics) Penerjemah. Erlangga, Jakarta, 2(5), 10.
- Putra, A. (2016). Perancangan Pintu Air *Intake Gate* Hydroulic (Doctoral dissertation, University of Muhammadiyah Malang).
- Kodoatie, R. J. (2009). Analisis Dimensi, Kesetaraan, Dan Model Hidrolika. Hidrolika penerapan Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa, Yogyakarta, Indonesia: Andi, 81-85.