

# Pemodelan Fisik Konstruksi Kelompok Tiang dalam Mereduksi Aliran Super Kritis di Hilir Pintu Air Tipe Flap

## *Physical Modeling of Pile Group Construction in Reducing Super Critical Flow at Downstream of Flap Gate*

**I Made Kamiana<sup>1</sup>, Dwi Anung Nindito<sup>2</sup>, Ayuni Wulandari<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Jln. Yos Sudarso. Email : [kamianamade62@gmail.com](mailto:kamianamade62@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Jln. Yos Sudarso. Email : [dwi\\_anungnindito@eng.upr.ac.id](mailto:dwi_anungnindito@eng.upr.ac.id)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Jln. Yos Sudarso. Email : [ayuniw12@gmail.com](mailto:ayuniw12@gmail.com)

### Abstrak

Aliran super kritis di hilir pintu air dapat menjadi salah satu penyebab gerusan pada saluran. Oleh karena itu, sebelum masuk ke saluran, aliran harus dalam kondisi sub kritis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan konstruksi kelompok tiang dalam mereduksi aliran super kritis di hilir pintu air tipe flap. Penelitian dilakukan dengan cara pemodelan fisik di laboratorium. Model konstruksi kelompok tiang yang diuji terdiri dari enam variasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa enam variasi model konstruksi kelompok tiang mampu mereduksi aliran super kritis di hilir model pintu air tipe flap menjadi aliran sub kritis. Variasi yang paling efektif adalah Variasi IV. Pada variasi IV, model tiang dipasang paralel, tinggi model tiang 24 kali diameter model tiang, jarak antar model tiang 1/8 lebar flume, panjang model konstruksi kelompok tiang 1,95 kali jarak antara model konstruksi kelompok tiang dan model pintu air tipe flap. Variasi model tiang dalam penelitian ini hanya pada tinggi dan formasi. Oleh karena itu, penelitian ini masih perlu dikembangkan dengan variasi jenis material, diameter, dan kerapatan model tiang.

**Kata Kunci:** Aliran super kritis; bilangan froude; konstruksi kelompok tiang; pemodelan fisik; pintu air

### Abstract

*Before entering the channel, the supercritical flow at downstream of the flap gate must be in subcritical flow, so that it does not become one of the causes of scour. This research aims to analyze the ability of pile group construction in reducing supercritical flow at downstream of the flap gate and using six variations of the physical model of pile group construction in the laboratory. The results showed that the six variations of the tested pile group construction model were able to reduce the supercritical flow to a subcritical flow. The most effective variation is variation IV. In variation IV, the pile model is installed in parallel, the height of the pile model is 24 x the diameter of the pile model, the distance between the pile models is 1/8 the flume width, and the length of the pile group construction model is 1.95 x the distance between the pile group construction model and the flap gate model. In this research, the variation of the pile model is only in height and formation. So, it is necessary to develop variations in the type of material, diameter, and density of the pile model in the next research.*

**Keywords:** Supercritical flow; froude number; pile group construction; physical modeling; flap gate

## PENDAHULUAN

Pintu air merupakan bangunan air yang berfungsi untuk mengatur debit, misalnya debit di saluran irigasi, saluran drainase, dan debit di sungai (Fahmiahans dkk, 2018; Fitriansyah dkk, 2021).

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi aliran melalui pintu air, antara lain: tinggi bukaan pintu air, tinggi muka air di hulu pintu air, dan tinggi muka air di hilir loncatan hidraulik (Fahmiahans dkk, 2018; Rustiati dan Suciani, 2022).

Aliran di hilir pintu air dikelompokkan menjadi dua yaitu aliran bebas dan aliran tenggelam

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p67-73>

(Ghaderi dkk, 2020). Peristiwa loncatan hidraulik di hilir pintu air dapat terjadi baik dalam kondisi aliran bebas maupun aliran tenggelam (Ghaderi dkk, 2020).

Loncatan hidraulik terjadi pada aliran berubah tiba-tiba dari aliran super kritis menjadi aliran sub kritis (Eltoukhy dan Alsaydalani, 2019). Aliran super kritis adalah aliran dengan bilangan Froude lebih besar dari 1 ( $F_r > 1$ ). Aliran sub kritis adalah aliran dengan bilangan Froude lebih kecil dari 1 ( $F_r < 1$ ) (Fahmiahansan dkk, 2018).

Apabila aliran super kritis terjadi di hilir pintu air yang dasar salurannya berupa material halus maka dapat mengakibatkan gerusan lokal (Pudyono dan Sunik, 2013). Gerusan lokal dapat mengakibatkan kerusakan dan kegagalan bangunan air, termasuk didalamnya kerusakan dan kegagalan pintu air (Aamir dkk, 2022; Ibrahim dkk, 2022).

Untuk menghindari gerusan lokal di hilir pintu air maka sebelum masuk ke saluran, aliran super kritis diubah terlebih dahulu menjadi aliran sub kritis. Cara untuk mengubah aliran super kritis menjadi aliran sub kritis adalah dengan memasang konstruksi peredam atau pereduksi energi, misalnya berupa kolam olak dan blok penghalang aliran (Pudyono dan Sunik, 2013; Kim dkk, 2015; Urbański dkk, 2020).

Pudyono dan Sunik (2013) melakukan penelitian pemodelan kolam olak di hilir pintu air. Model kolam olak dilengkapi dengan blok-blok penghalang aliran di lantai kolam olak (*baffle blocks*) dan blok-blok penghalang di ujung lantai kolam olak (*endsill*). Penelitian bertujuan untuk meninjau kecepatan aliran di hilir pintu air sebelum dan sesudah pemasangan kolam olak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah pemasangan kolam olak, kecepatan aliran di hilir pintu air berkurang dan terjadi aliran bolak-balik serta kondisi aliran berubah dari super kritis menjadi kritis kemudian berubah lagi menjadi sub kritis.

Kim dkk (2015) melakukan penelitian pemodelan pereduksi energi di hilir pintu air geser tegak. Model pereduksi energi yang digunakan berupa blok penghalang yang masif. Blok penghalang dipasang melintang pada jarak tertentu dari pintu air. Tinggi blok penghalang bervariasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, blok penghalang mampu mereduksi 50% aliran super kritis apabila tinggi blok penghalang sebesar 10% rata-rata kedalaman aliran dan jarak pemasangannya dari pintu geser tegak sebesar 70% rata-rata kedalaman aliran.

Dalam penelitian ini, pereduksi aliran super kritis dimodelkan dalam bentuk konstruksi kelompok tiang atau serupa model vegetasi rigid dalam penelitian yang dilakukan oleh Zhu dkk (2014).

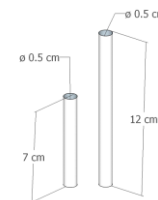
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan model konstruksi kelompok tiang dalam mereduksi aliran super kritis di hilir model pintu air, dan menganalisis pemasangan model konstruksi kelompok tiang yang paling efektif.

## METODE

### Pembuatan Model

Pemodelan dilakukan dengan model fisik di Laboratorium Hidrolika dan Hidrologi Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya.

Dimensi *flume* yang digunakan dalam pemodelan sebagai berikut: panjang 6 m, lebar 0,20 m, dan tinggi 0,38 m. Dasar *flume* dibuat dari kayu, dan dinding dibuat dari kaca. Model pintu air yang digunakan dalam penelitian ini adalah model pintu air otomatis tipe flap atau *flap gate* (Adib dkk, 2015). Oleh karena *flume* dan model pintu air otomatis tipe flap sudah tersedia, maka dalam penelitian ini hanya diperlukan pembuatan model konstruksi kelompok tiang. Model tiang dibuat dari kayu galam. Penampang dan tinggi model tiang dapat dilihat pada Gambar 1. Diameter model tiang 0,5 cm; tinggi model tiang 7 cm (12 x diameter model tiang) dan 12 cm (24 x diameter model tiang). Model tiang dipasang paralel seperti terlihat pada Gambar 2.

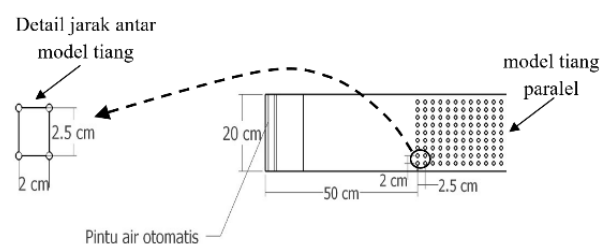


Gambar 1. Diameter model tiang dan tinggi model tiang

Keterangan Gambar 1:

$\phi$  : diameter model tiang = 0,5 cm

t : tinggi model tiang (7 cm dan 12 cm)



Gambar 2. Tampak atas pemasangan model tiang paralel pada *flume*, dan jarak antar model tiang

Keterangan Gambar 2:

Angka 20 cm : lebar *flume*

Angka 50 cm : jarak model konstruksi tiang dari model pintu air

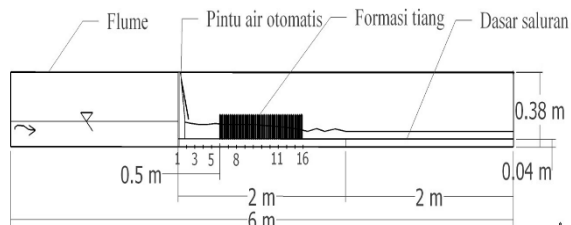
Angka 2 cm : jarak antar model tiang dalam arah memanjang *flume*

Angka 2,5 cm : jarak antar model tiang dalam arah melintang *flume* (1/8 lebar *flume*)

Pemasangan model konstruksi kelompok tiang pada *flume* dapat dilihat pada Tabel 1 dan pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 6.

Tabel 1. Variasi model tiang dan cara pemasangan

Variasi model tiang	Cara pemasangan
Variasi I dengan $t = 7$ cm	Lihat Gambar 4
Variasi IV dengan $t = 12$ cm	Lihat Gambar 4
Variasi II dengan $t = 7$ cm	Lihat Gambar 5
Variasi V dengan $t = 12$ cm	Lihat Gambar 5
Variasi III dengan $t = 7$ cm	Lihat Gambar 6
Variasi VI dengan $t = 12$ cm	Lihat Gambar 6



Gambar 3. Tampak samping *flume*, model pintu air otomatis tipe flap, model konstruksi kelompok tiang, dan lokasi 16 titik pengukuran kedalaman aliran

Keterangan Gambar 3:

Angka 6 m : panjang total *flume*

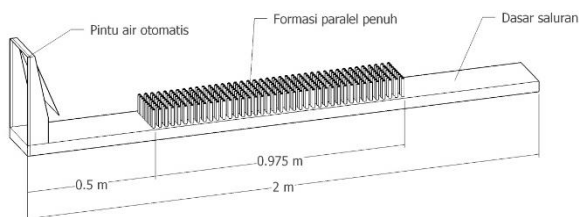
Angka 0,5 m : jarak model konstruksi kelompok tiang dari model pintu air

Angka 2 m : panjang dasar *flume* yang dibuat dari kayu

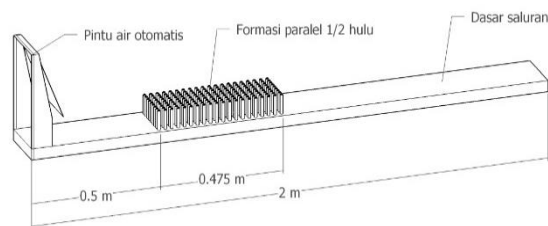
Angka 0,04 m : tebal kayu sebagai dasar *flume*

Angka 0,38 m : tinggi *flume* dari dasar

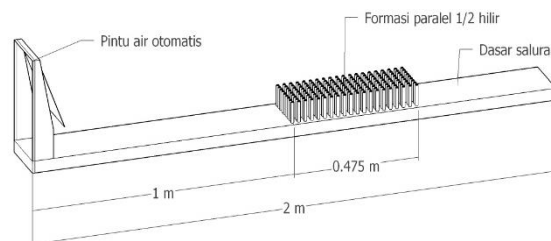
Angka 1... 16 : lokasi titik pengukuran kedalaman aliran



Gambar 4. Detail pemasangan model tiang variasi I dan variasi IV



Gambar 5. Detail pemasangan model tiang variasi II dan variasi V



Gambar 6. Detail pemasangan model tiang variasi III dan variasi VI

Keterangan Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6:

Angka 2 m : panjang dasar *flume* yang ditinjau

Angka 0,5 m : jarak model konstruksi tiang dari model pintu air pada variasi I, II, IV, dan variasi V

Angka 1 m : jarak model konstruksi tiang dari model pintu air pada variasi III dan variasi VI

Angka 0,975 m : panjang model model konstruksi tiang pada model variasi I dan IV

Angka 0,475 m : panjang model model konstruksi tiang pada model variasi II, III, V, dan VI

### Pengumpulan Data

Data dikumpulkan dengan cara pengukuran dan cara perhitungan. Data yang diperoleh dengan cara pengukuran yaitu data kedalaman aliran dan lebar dasar *flume*. Pengumpulan data kedalaman aliran dilakukan pada saat pengaliran debit melalui model pintu air otomatis tipe flap tanpa dan dengan 6 variasi model konstruksi kelompok tiang. Pengaliran debit dilakukan dalam dua variasi yaitu  $Q_1 = 0,00129 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan  $Q_2 = 0,00512 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

Data yang diperoleh dengan cara perhitungan adalah data luas penampang basah dan kecepatan aliran rata-rata penampang. Dalam Todar dkk (2021), kecepatan aliran di saluran terbuka dihitung dengan Persamaan Manning. Tetapi, dalam penelitian ini kecepatan aliran pada *flume* dihitung berdasarkan adaptasi dari Persamaan Kontinuitas (Kamiana dan Jaya, 2019). Persamaan yang dimaksud itu adalah Persamaan [1].

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots[1]$$

Keterangan:

- V : kecepatan aliran rata-rata penampang (m/dt)
- Q : debit (m<sup>3</sup>/dt), data Q diperoleh dengan pengukuran volumetrik
- A : luas penampang basah (m<sup>2</sup>) = y x b, dimana y adalah kedalaman aliran (m) dan b adalah lebar flume (m).

**Analisis Data**

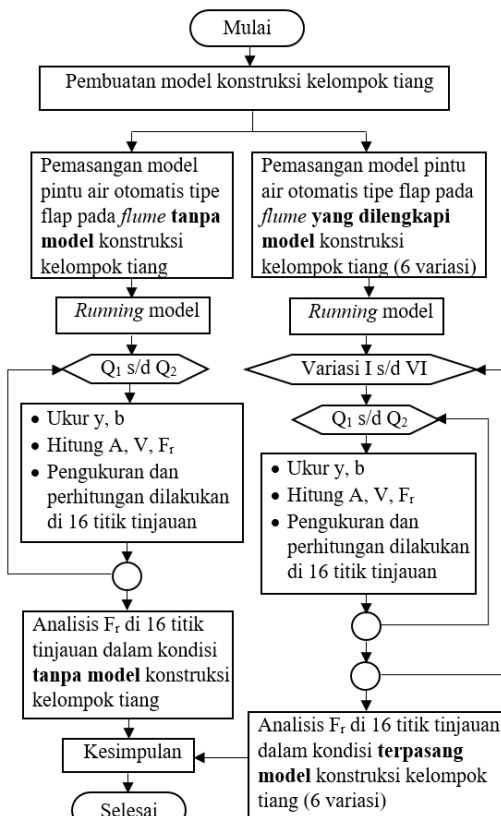
Data yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai data masukan dalam perhitungan bilangan Froude pada 16 titik tinjauan. Oleh karena flume yang digunakan dalam penelitian ini berpenampang persegi, maka bilangan Froude dihitung berdasarkan Persamaan [2] (Fahmiahsan dkk, 2018).

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g y}} \dots\dots\dots[2]$$

Keterangan:

- F<sub>r</sub> : bilangan Froude
- V : kecepatan aliran rata-rata penampang (m/dt)
- g : percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)
- y : kedalaman aliran (m)

Hasil perhitungan bilangan Froude pada 16 titik tinjauan, kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Bagan alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 7.

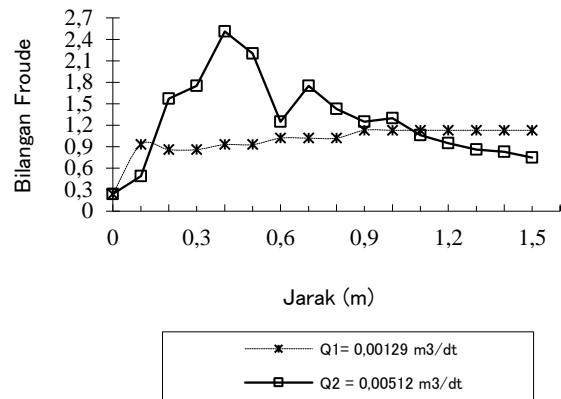


Gambar 7. Bagan Alir Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Aliran tanpa model konstruksi kelompok tiang**

Kondisi aliran di hilir model pintu air otomatis tipe flap tanpa model konstruksi kelompok tiang disajikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Bilangan Froude (F<sub>r</sub>) pada 16 titik tinjauan tanpa model konstruksi kelompok tiang

Lokasi titik-titik tinjauan pada Gambar 8, penjelasannya sebagai berikut: titik 0 atau titik tinjauan ke-1 terletak 10 cm di hulu model pintu air, titik 1 atau titik tinjauan ke-2 terletak pada posisi model pintu air, titik 2 atau titik tinjauan ke-3 terletak 10 cm di hilir model pintu air, titik 3 atau titik tinjauan ke-4 berlokasi 20 cm di hilir model pintu air, demikian seterusnya sampai titik tinjauan ke-16 yang terletak 1,4 m di hilir model pintu air.

Secara umum mengenai kondisi aliran pada Gambar 8 sebagai berikut: (i) Pada pengaliran dengan debit Q<sub>1</sub>, aliran di hulu dan di posisi pintu air adalah sub kritis. Setelah melewati model pintu air, aliran cenderung menjadi super kritis dan tidak terdapat loncatan hidraulik. (ii) Pada pengaliran dengan debit Q<sub>2</sub>, aliran di hulu dan di posisi model pintu air adalah sub kritis. Setelah melewati model pintu air, aliran berubah menjadi super kritis, kemudian di hilirnya menjadi sub kritis, sehingga terjadi loncatan hidraulik. Kondisi aliran seperti ini juga terdapat dalam salah satu hasil pengujian pengaliran oleh Pudyono dan Sunik (2013) maupun oleh Kim dkk (2015).

Berdasarkan Gambar 8, juga dapat dijelaskan kondisi aliran lebih rinci pada 16 titik tinjauan sebagai berikut:

1. Kondisi pengaliran dengan debit Q<sub>1</sub>

Di titik tinjauan ke-1 atau pada jarak 0,1 m di hulu model pintu air sampai dengan titik tinjauan ke-6 atau pada jarak 0,4 m di hilir model pintu air, nilai bilangan Froude < 1 (sub kritis). Mulai dari titik tinjauan ke-7, atau mulai dari titik tinjauan dengan

jarak 0,5 m di hilir model pintu air sampai dengan titik tinjauan ke-16 atau titik tinjauan dengan jarak 1,4 m di hilir model pintu air, nilai bilangan Froude  $> 1$  (super kritis).

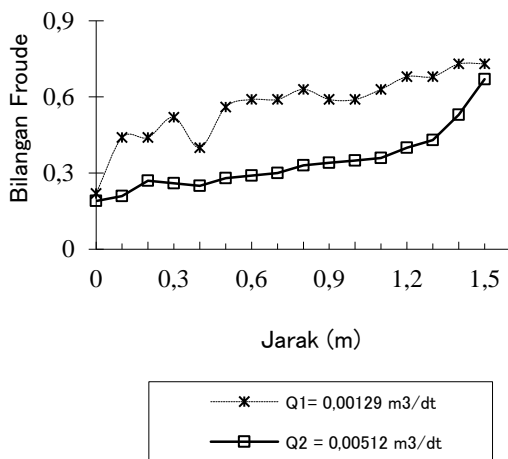
Pada pengaliran dengan debit  $Q_1$ , nilai bilangan Froude terkecil 0,24 yang terjadi pada titik tinjauan ke-1 atau pada titik tinjauan yang berjarak 0,1 m di hulu model pintu air. Sedangkan nilai bilangan Froude terbesar 1,13 yang terjadi pada titik tinjauan ke-16 atau pada titik tinjauan yang berjarak 1,4 m di hilir model pintu air.

## 2. Kondisi pengaliran dengan debit $Q_2$

Di titik tinjauan ke-1 atau pada jarak 0,1 m di hulu model pintu air dan di titik tinjauan ke-2 atau pada posisi pintu air, nilai bilangan Froude  $< 1$  (sub kritis). Mulai titik tinjauan ke-3, nilai bilangan Froude meningkat menjadi  $> 1$  (super kritis). Peningkatan nilai bilangan Froude ini mencapai puncaknya pada titik tinjauan ke-5 atau pada titik tinjauan yang berjarak 0,3 m di hilir model pintu air. Mulai dari titik tinjauan ke-14 sampai dengan titik tinjauan ke-16, atau mulai dari jarak 1,2 m sampai dengan jarak 1,4 m di hilir model pintu air, nilai bilangan Froude berubah menjadi  $< 1$  (sub kritis). Hal ini menunjukkan bahwa, pada pengaliran dengan debit  $Q_2$  loncatan hidraulik terjadi mulai dari titik tinjauan ke-5 sampai dengan titik tinjauan ke-14.

## Aliran dengan model konstruksi kelompok tiang

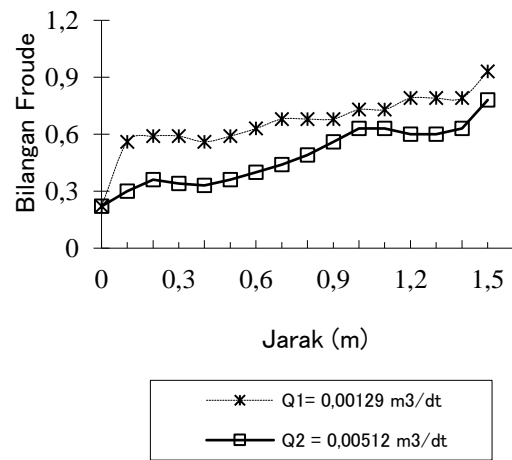
Gambar 9 sampai dengan Gambar 14 menunjukkan kondisi aliran pada 16 titik tinjauan di hulu dan hilir model pintu air otomatis tipe flap.



Gambar 9. Bilangan Froude ( $F_r$ ) setelah dipasang model konstruksi kelompok tiang variasi I

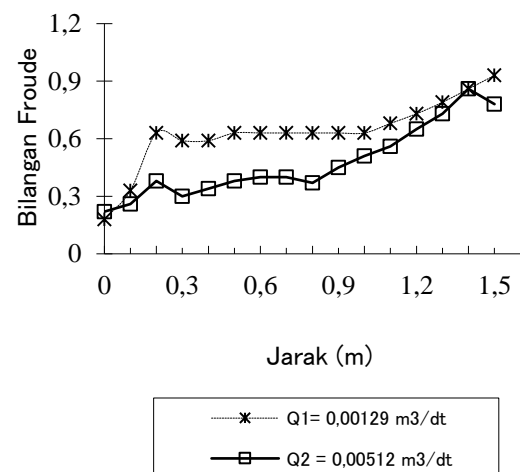
Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang variasi I di hilir model pintu air, bilangan Froude pada titik tinjauan ke-3 sampai dengan titik tinjauan ke-16 berubah menjadi lebih kecil dari satu. Artinya, aliran di hilir model pintu air menjadi dalam

kondisi sub kritis setelah pemasangan model konstruksi tiang variasi I. Bilangan Froude terbesar terdapat pada titik tinjauan ke-16, yaitu  $F_r = 0,67$  pada saat  $Q_2$  dan  $F_r = 0,73$  pada saat  $Q_1$ .



Gambar 10. Bilangan Froude ( $F_r$ ) setelah dipasang model konstruksi kelompok tiang variasi II

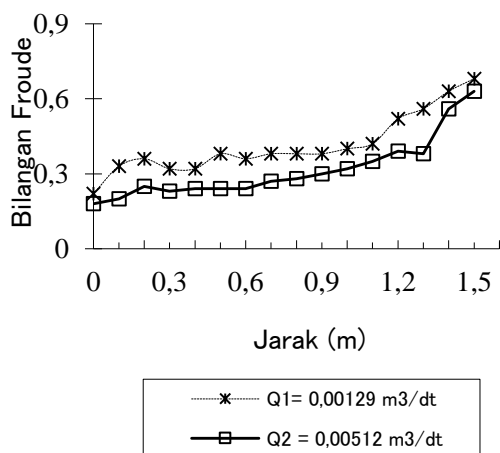
Berdasarkan Gambar 10, dapat dilihat bahwa setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang variasi II di hilir model pintu air, bilangan Froude pada titik tinjauan ke-3 sampai dengan titik tinjauan ke-16 berubah menjadi lebih kecil dari satu. Artinya, aliran di hilir model pintu air berubah menjadi sub kritis setelah pemasangan model konstruksi tiang variasi II. Bilangan Froude terbesar terdapat pada titik tinjauan ke-16, yaitu  $F_r = 0,78$  pada saat  $Q_2$  dan  $F_r = 0,93$  pada saat  $Q_1$ . Bilangan Froude terbesar pada variasi II ini lebih besar dari bilangan Froude terbesar pada variasi I.



Gambar 11. Bilangan Froude ( $F_r$ ) setelah dipasang model konstruksi kelompok tiang variasi III

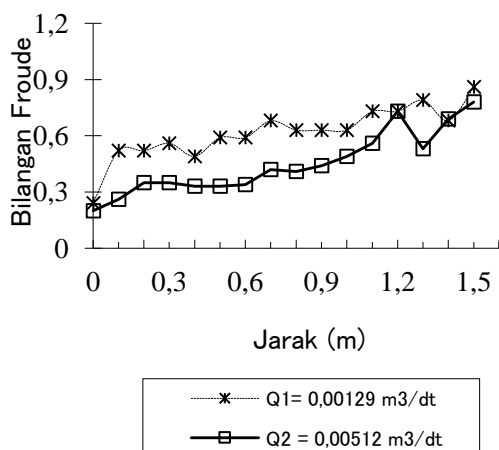
Berdasarkan Gambar 11, dapat dilihat bahwa setelah pemasangan model konstruksi kelompok

tiang variasi III, kondisi bilangan Froude pada titik tinjauan ke-3 sampai dengan titik tinjauan ke-16 sama dengan kondisi bilangan Froude setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang variasi I dan II, yaitu terjadi pengecilan bilangan Froude hingga lebih kecil dari satu. Bilangan Froude terbesar pada variasi III sama dengan bilangan Froude terbesar pada variasi II.



Gambar 12. Bilangan Froude ( $F_r$ ) setelah dipasang model konstruksi kelompok tiang variasi IV

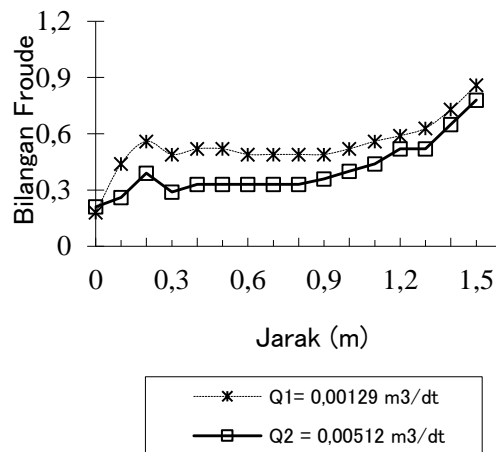
Bilangan Froude setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang variasi IV yang ditunjukkan pada Gambar 12 juga sama dengan yang ditunjukkan pada Gambar 9, 10, Gambar 11, yakni bilangan Froude menjadi lebih kecil dari satu. Bilangan Froude terbesar pada variasi IV terdapat pada titik tinjauan ke-16, yaitu  $F_r = 0,63$  pada saat  $Q_2$  dan  $F_r = 0,68$  pada saat  $Q_1$ .



Gambar 13. Bilangan Froude ( $F_r$ ) setelah dipasang model konstruksi kelompok tiang variasi V

Sama halnya dengan setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang variasi I, II, III, dan IV,

bilangan Froude pada titik tinjauan setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang variasi V, juga mengecil menjadi lebih kecil dari satu. Bilangan Froude terbesar pada variasi V terdapat pada titik tinjauan ke-16, yaitu  $F_r = 0,78$  pada saat  $Q_2$  dan  $F_r = 0,86$  pada saat  $Q_1$ .



Gambar 14. Bilangan Froude ( $F_r$ ) setelah dipasang model konstruksi kelompok tiang variasi VI

Berdasarkan Gambar 14, pada variasi VI, bilangan Froude pada titik tinjauan ke-3 sampai dengan ke-16 juga mengecil menjadi lebih kecil dari satu. Bilangan Froude terbesar pada variasi VI sama dengan pada variasi V.

Apabila dirangkum dari Gambar 9 sampai dengan Gambar 14 dapat dijelaskan bahwa:

1. Setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang, bilangan Froude pada setiap titik tinjauan di hilir model pintu air menjadi lebih kecil dari satu, atau aliran menjadi sub kritis.
2. Penurunan bilangan Froude tidak sama antar variasi model konstruksi kelompok tiang.
3. Variasi model konstruksi kelompok tiang yang paling efektif dalam menurunkan bilangan Froude di hilir model pintu air adalah variasi IV.

Hasil penelitian ini memiliki kesamaan dengan hasil penelitian Pudyono dan Sunik (2013), Kim dkk (2015), Aydin dan Ulu (2017), dan Ghaderi dkk (2020), yang pada intinya menyatakan bahwa:

1. Pemasangan penghalang aliran di hilir pintu air, dapat menurunkan kecepatan aliran, memperpendek panjang loncatan hidraulik, dan meningkatkan kedalaman aliran di akhir loncatan hidraulik. Dengan kata lain, penghalang aliran dapat mereduksi aliran super kritis.
2. Efektivitas penghalang aliran dalam mereduksi aliran super kritis bergantung pada beberapa faktor, antara lain: dimensi, bentuk, formasi, dan lokasi pemasangan penghalang aliran.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa enam variasi model konstruksi kelompok tiang yang diuji, yaitu: variasi I, II, III, IV, V, dan VI, mampu mereduksi aliran super kritis di hilir model pintu air tipe flap menjadi aliran sub kritis.

Model konstruksi kelompok tiang yang paling efektif dalam mereduksi aliran super kritis menjadi sub kritis di hilir model pintu air tipe flap adalah model konstruksi kelompok tiang variasi IV.

Bentuk model konstruksi kelompok tiang variasi IV, sebagai berikut: (i) model tiang dipasang paralel; (ii) tinggi model tiang 24 kali diameter model tiang; (iii) jarak antar model tiang 1/8 lebar *flume*; (iv) panjang pemasangan model konstruksi kelompok tiang 1,95 kali jarak pemasangan model konstruksi kelompok tiang dari model pintu air tipe flap.

## REFERENSI

- Aamir, M., Ahmad, Z., Pandey, M., Khan, A. M., Aldrees, A., Mohamed, A. 2022. "The Effect of Rough Rigid Apron on Scour Downstream of Sluice Gates", *Water*. Vol 14. No. 14.
- Adib, M.R.M., Amirza, A.R.M., Wardah, T., Junaidah, A. 2015. "Effectiveness Using Circular Fibre Steel Flap Gate as a Control Structure Towards the Hydraulic Characteristics in Open Channel", *Soft Soil Engineering International Conference*, IOP Publishing, pp. 1-9.
- Aydin, M.C., Ulu, A.E. 2017. "Numerical Modelling of Sluice Gates with Different Baffle Types Under Submerged Flow Conditions", *Journal of Science and Technology*. Vol. 7 No. 1.
- Eltoukhy, M.A.R., Alsaydalani, M.O.A. 2019. "Hydraulic Jump Characteristics Downstream of a Sluice Gate with an Orifice", *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol. 10 No. 10.
- Fahmiahsan, R., Mudjiatko, Rinaldi. 2018. "Fenomena Hidrolis pada Pintu Sorong", *Jom FTEKNIK*. Vol. 5 No. 1.
- Fitriansyah, M., Setiawan, I., Ridhani, M.Y. 2021. "Perencanaan Desain Pintu Air Otomatis Sebagai Upaya Mitigasi Genangan Akibat Pasang Air Sungai (Jl. Belitung Kota Banjarmasin)", *Jurnal Konstruksia*. Vol. 13 No. 1.
- Ghaderi, A., Dasineh, M., Aristodemo, F., Ghahramanzadeh, A. 2020. "Characteristics of Free and Submerged Hydraulic Jumps Over Different Macroroughnesses", *Journal of Hydroinformatics*. Vol. 22 No. 6.
- Ibrahim, M.M., Helmy, A., Alafrawi, M.A., El-Hazek, A.N. 2022. "Using Nanomaterial to Minimize the Local Scour Downstream of Sluice Gate", *Alexandria Engineering Journal*. Vol. 61 No. 4.
- Kamiana, I.M., Jaya, A.R. 2019. "Koefisien Manning Saluran Drainase di Ruas Jalan Bapuyu dan Jalan Lele Kota Palangka Raya", *Prosiding SNST ke-10 Tahun 2019*, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, pp.37-42.
- Kim, Y., Choi, G., Park, H., Byeon, S. 2015. "Hydraulic Jump and Energy Dissipation with Sluice Gate", *Water*. Vol. 7. No. 9.
- Pudyo, Sunik. 2013. "Penentuan Kedalaman dan Pola Gerusan Akibat Aliran Superkritik di Hilir Pintu Air Menggunakan End Sill dan Baffle Block dengan Simulasi Model Integrasi Numerik", *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol. 7 No. 2.
- Rustiati, N.B., Suciani, N. 2022. "Kajian Pola Aliran di Hilir Pintu Sorong dengan Material Dasar Saluran Pasir Lempung", *Rekonstruksi Tadulako*. Vol. 3 No 1.
- Todar, E.Y., Nomeritae, Kamiana, I.M. 2021. "Perubahan Parameter Hidrolis pada Drainase Primer dengan Dinding Alami Akibat Sampah Padat", *Proteksi*, Vol. 3 No. 2.
- Urbański, J., Kiraga, M., Bajkowski, S. 2020. "The Impact of Energy Dissipation Devices on The Size of Local Scour Beds on The Sluice Gate Model", *Archives of Civil Engineering*. Vol. 66 No. 4.
- Zhu, C., Hao, W., Chang, X. 2014. "Vertical Velocity Distribution in Open-Channel Flow with Rigid Vegetation", *The Scientific World Journal*. Vol. 2014 No. 3.