

## UJI EKSPERIMENTAL PEREDAM DI HILIR *SLUICE GATE* UNTUK PENGENDALIAN LONCATAN HIDRAULIK

Dyan Eka Nurhayati<sup>1,\*</sup>, Syamsuri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

\*Corresponding authors: [dyaneka@itats.ac.id](mailto:dyaneka@itats.ac.id)

Submitted: 15 June 2022, Revised: 22 August 2022, Accepted: 1 September 2022

**ABSTRACT:** A hydraulic jump can be formed by the discharge flowing through the sluice gate. This phenomenon occurred due the flow transformation from subcritical to supercritical. The hydraulic jump can cause an erosion in channel base. In this experimental study the stilling basin is planned in sluice gate downstream. The triangular, trapezoid, and sinusoidal stilling basin have been installed to control the flow and the hydraulic jump. The objective of this study is to evaluate the hydraulic jump in the sluice gate downstream, specifically the height and the jump length. This experimental study result can be used as consideration in designing a sluice gate. In this experimental study, comparisons were made on several models such as triangular stilling basin (model 1), trapezoidal stilling basin (model 2), and sinusoidal stilling basin (model 3), with the original design (Model 0). The modelling results were then evaluated by comparing to indicators such as sluice gate opening height (Y1), hydraulic jump height (Y2), and hydraulic jump length (Lj). The experimental study result exhibited that stilling basin in sluice gate downstream can reduce Y2 and Lj. The more roughness the stilling basin, the more effective to control the hydraulic jump. Y2 and Lj decreasing value from first to third experiment, that result also affects the length of transition part for the supercritical to subcritical flow. In this experimental study, the largest Y2 reduction efficiency was obtained on the Model 3, which the originally Y2 value was 0.11 m to 0.075 m. The result from this 31.82% efficiency is obtained 0.16 m of hydraulic jump length (Lj) and stilling basin length requirement (Ld) in 0.38 m.

**KEYWORDS:** hydraulic; hydraulic jump; sluice gate; stilling basin.

**ABSTRAK:** Debit yang mengalir melalui sluice gate dapat menghasilkan loncatan hidraulik. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan aliran dari sub kritis menjadi super kritis. Terciptanya loncatan hidraulik dapat menyebabkan erosi atau pengikisan dasar saluran. Maka direncanakan penambahan peredam di hilir sluice gate berbentuk segitiga, trapesium, dan sinusoidal untuk mengontrol profil aliran dan panjang loncatan hidraulik. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mempelajari perilaku hidraulika pada loncatan hidraulik di hilir sluice gate berupa tinggi dan panjang loncatan hidraulik. Sehingga hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam mendesain sluice gate dan bangunan pelengkap. Uji eksperimental ini dilakukan empat percobaan. Model 0 merupakan desain awal tanpa peredam di hilir sluice gate, model 1 menggunakan peredam segitiga, model 2 menggunakan peredam trapesium, dan model 3 menggunakan peredam sinusoidal. Hasil pemodelan akan dianalisa menggunakan indikator yang diukur, yaitu tinggi bukaan sluice gate (Y1), tinggi loncatan hidraulik (Y2), dan panjang loncatan hidraulik (Lj). Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor peredam di hilir sluice gate mempengaruhi tinggi dan panjang loncatan hidraulik. Semakin kasar bentuk peredam, maka kontrol loncatan hidraulik semakin efektif. Dengan berkurangnya nilai Y2 dan Lj pada Model 1 hingga Model 3, maka hal tersebut mempengaruhi kebutuhan panjang lantai transisi untuk aliran superkritis kembali menjadi sub kritis. Pada penelitian ini didapatkan efisiensi penurunan Y2 terbesar pada Model 3, nilai Y2 yang semula 0.11 m menjadi 0.075 m. Efisiensi sebesar 31.82% ini menghasilkan panjang loncatan hidraulik (Lj) sebesar 0.16 m dan kebutuhan panjang lantai (Ld) 0.38 m.

**KATA KUNCI:** hidraulik; loncatan hidraulik; pintu air; peredam energi.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

### 1 PENDAHULUAN

Perubahan aliran yang melalui *sluice gate* menghasilkan perubahan kecepatan aliran yang diakibatkan oleh luas penampang bukaan pintu. Aliran pada *sluice gate* dimulai dari aliran sub kritis di bagian hulu *sluice gate*, kemudian berubah menjadi aliran super kritis di hilir *sluice gate* sebelum kembali menjadi aliran sub kritis (Kodoatie, 2005). Perubahan aliran secara cepat tersebut menghasilkan loncatan hidraulik di bagian hilir *sluice gate*.

Menurut Laksitaningtyas et al (2020), perubahan aliran melalui pintu air juga dipengaruhi oleh kondisi pengaliran di bagian hilir pintu, apakah kondisi bukaan pintu air dalam kondisi aliran bebas atau tenggelam, dan akan mempengaruhi kecepatan aliran dan kondisi loncatan hidraulik (Laksitaningtyas et al., 2020).

Ketika loncatan hidraulik terjadi, maka panjang loncatan hidraulik merupakan salah satu faktor penting yang harus diketahui untuk menentukan panjang bangunan peredam energi (Anonim, 2013). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi panjang loncatan

hidraulik, diantaranya yaitu sudut bukaan pintu air (Fahmiahsan et al., 2018), kecepatan aliran, dan bilangan Froude (Binilang, 2014) dan (Nurjanah, 2014).

Terciptanya loncatan hidraulik di bagian hilir *sluice gate* berpotensi menyebabkan *scouring* atau pengikisan dasar saluran (Abbaspour et al., 2016). Salah satu alternatif untuk mengontrol kecepatan loncatan hidraulik adalah menambah kekasaran pada dasar saluran hilir. Dasar saluran yang memiliki kekasaran dan bergelombang mampu mengontrol loncatan hidraulik dibanding dasar saluran yang halus (Imran & Akib, 2013). Dengan menambah kekasaran dasar saluran, kecepatan aliran yang keluar dari bukaan pintu dapat diredam dan loncatan hidraulik dapat diperkecil.

Penambahan peredam energi pada bagian saluran terjadinya loncatan hidraulik, juga mampu mereduksi panjang loncatan hidraulik (Azmeri et al., 2021). Selain itu menurut Kim et al (2015) dan El-Seddik (2017), penambahan peredam energi juga dapat mengamankan dasar saluran dari kemungkinan terjadinya *scouring*.

Penelitian tentang pengendalian loncatan hidraulik dilakukan oleh Nenny & Imran (2018) dengan memodelkan variasi jumlah *baffle block* pada kolam olak setengah lingkaran dan dinilai mampu mengurangi loncatan hidraulik (Nenny & Imran, 2018). Sedangkan Azmeri et al (2021) melakukan penelitian untuk mereduksi loncatan hidraulik dengan memodelkan variasi *stepped weir*. Rafelia (2021) melakukan uji eksperimental dengan memasang tiang tegak (krib) di hilir pintu air dan mampu mereduksi energi spesifik yang diakibatkan oleh debit pintu air yang mengalir (Rafelia et al., 2021).

Pada penelitian ini akan dilakukan uji eksperimental dengan mengamati loncatan hidraulik di hilir *sluice gate* dengan kondisi aliran di hilir merupakan aliran tenggelam. Bentuk peredam yang digunakan adalah peredam modifikasi berbentuk segitiga, trapesium, dan sinusoidal.

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mempelajari perilaku hidraulik berupa panjang dan tinggi loncatan hidraulik di hilir *sluice gate* dengan kondisi permukaan dasar saluran ditambah peredam energi. Sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam proses desain *sluice gate* dan bangunan pelengkapanya di bagian hilir.

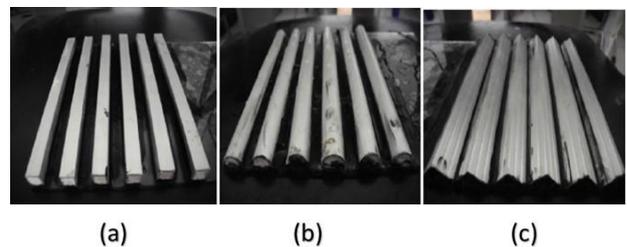
## 2 METODOLOGI

Model eksperimental pada penelitian ini terdiri dari *flume* yang terbuat dari kaca, *sluice gate*, dan pompa air. Lebar *flume* yaitu 20 cm, tinggi *flume* 30 cm, dan panjang *flume* 300 cm. Dimensi pintu air pada pemodelan ini memiliki lebar 20 cm dan tinggi bukaan pintu air maksimum 15 cm.

Bahan hambatan yang akan digunakan pada dasar *flume* dibuat dari pvc dengan tiga bentuk variasi, yaitu segitiga, trapesium, dan sinusoidal. Kapasitas pompa yang digunakan adalah 1000 liter/jam.



Gambar 1. Flume yang Digunakan



Gambar 2. Variasi Peredam Energi: (a) Peredam Segitiga (b) Peredam Trapezium (c) Peredam Sinusoidal

Metode pengerjaan penelitian ini yaitu mencatat data yang diperoleh dari hasil uji eksperimental. Pencatatan data yang dilakukan yaitu tinggi bukaan pintu ( $Y_1$ ), tinggi loncatan hidraulik ( $Y_2$ ), dan panjang loncatan hidraulik ( $L_j$ ) di hilir *sluice gate*.

Nilai kecepatan aliran ( $V$ ) dan bilangan Froude ( $Fr$ ) dapat dianalisa menggunakan Persamaan 1 dan 2 (Subramanya, 1986). Untuk kebutuhan panjang lantai transisi ( $L_d$ ) dapat dihitung secara teoritis menggunakan Persamaan 3 (Anonim, 2013).

$$v = \sqrt{2g(Y_2 - Y_1)} \dots\dots\dots (1)$$

$$F = \frac{v}{\sqrt{gh}} \dots\dots\dots (2)$$

$$L_d = 5.Y_2 \dots\dots\dots (3)$$

keterangan:  $Fr$  : bilangan Froude,  $V$  : kecepatan aliran (m/det),  $g$  : percepatan gravitasi (m/det<sup>2</sup>),  $h$  : kedalaman hidraulik (m),  $L_d$  : panjang lantai transisi (m).

Pada pencatatan uji eksperimental ini, nilai tinggi loncatan hidraulik ( $Y_2$ ) akan dilakukan verifikasi dengan menghitung tinggi loncatan hidraulik secara teoritis dengan menggunakan rumus (Chow, 1985):

$$Y_2/Y_1 = 0,5 (\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1) \dots\dots\dots (4)$$

Hal ini untuk mengetahui kevalidan data yang dihasilkan dari uji eksperimental ini.

**Tabel 1.** Range Nilai *Index of Agreement*

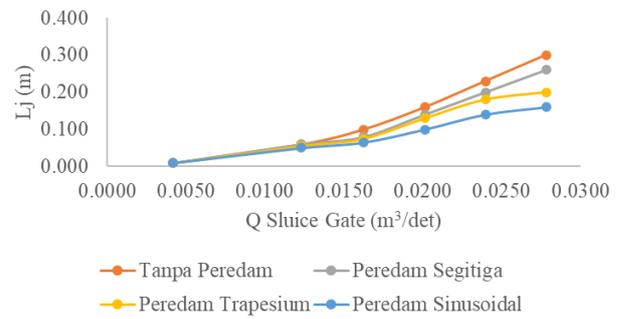
<i>Index of Agreement (%)</i>	<i>Scale Description</i>
0 - 20	<i>Extremely inappropriate</i>
20 - 40	<i>Inappropriate</i>
40 - 60	<i>Moderately appropriate</i>
60 - 80	<i>Very appropriate</i>
80 - 100	<i>Extremely appropriate</i>

**3 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan hasil penelitian, dengan tinggi bukaan pintu (Y1) 0.01 m hingga 0.07 m dan kedalaman air (Yo) adalah 0.60 m untuk setiap pemodelan, Hasil bacaan data percobaan pada uji eksperimental dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan hubungan antara debit dan panjang loncatan hidrolis dapat dilihat pada Gambar 3.

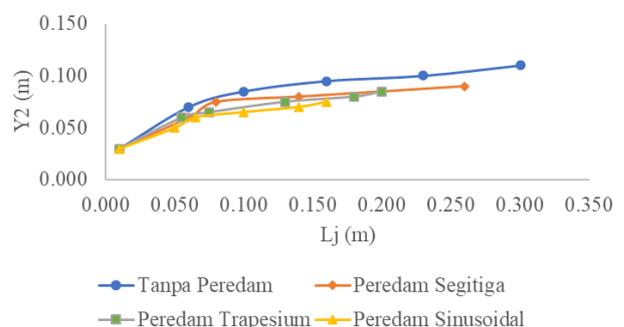
**Tabel 2.** Bacaan Data Percobaan

Model	<i>Q Sluice Gate (m³/det)</i>	Y1 (m)	Y2 (m)	Lj (m)
0	0.0042	0.01	0.030	0.010
	0.0123	0.03	0.070	0.060
	0.0162	0.04	0.085	0.100
	0.0201	0.05	0.095	0.160
	0.0240	0.06	0.100	0.230
	0.0278	0.07	0.110	0.300
1	0.0042	0.01	0.030	0.010
	0.0123	0.03	0.060	0.060
	0.0162	0.04	0.075	0.080
	0.0201	0.05	0.080	0.140
	0.0240	0.06	0.085	0.200
	0.0278	0.07	0.090	0.260
2	0.0042	0.01	0.030	0.010
	0.0123	0.03	0.060	0.055
	0.0162	0.04	0.065	0.075
	0.0201	0.05	0.075	0.130
	0.0240	0.06	0.080	0.180
	0.0278	0.07	0.085	0.200
3	0.0042	0.01	0.030	0.010
	0.0123	0.03	0.050	0.050
	0.0162	0.04	0.060	0.065
	0.0201	0.05	0.065	0.100
	0.0240	0.06	0.070	0.140
	0.0278	0.07	0.075	0.160



**Gambar 3.** Hubungan  $Q_{sluice\ gate}$  dan Lj

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 3, panjang loncatan hidraulik (Lj) memiliki nilai yang berbeda pada masing-masing percobaan. Pada masing-masing percobaan, didapatkan nilai Lj semakin terbesar terjadi pada nilai debit terbesar pula. Pembacaan data percobaan ini selaras dengan hasil penelitian Nurnawaty et al (2021) yang menyatakan bahwa panjang loncatan hidraulik berbanding lurus dengan kenaikan debit aliran karena panjang loncatan hidraulik dipengaruhi oleh kedalaman air yang dihasilkan berdasarkan besar debit yang mengalir melalui *sluice gate*. Berdasarkan Tabel 2 didapatkan pula bahwa tinggi dan panjang loncatan hidraulik dari percobaan ke-0 hingga ke-3 mengalami reduksi. Hasil terkecil untuk tinggi loncatan dan panjang loncatan hidraulik didapatkan pada percobaan ke-3 dengan peredam energi berbentuk sinusoidal. Hasil uji eksperimental ini membuktikan pernyataan hasil penelitian Nenny & Imran (2018) dan Azmeri et al (2021) bahwa semakin banyak dan kasar permukaan pada dasar saluran di mana terjadinya loncatan hidraulik, maka semakin mampu mereduksi tinggi dan panjang loncatan hidraulik. Kekasaran dasar saluran dapat mempengaruhi kecepatan aliran yang terjadi dan bilangan Froude (Chow, 1985). Reduksi tinggi loncatan hidraulik (Y2) dan panjang loncatan hidraulik (Lj) dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Hubungan Y2 dan Lj

Efisiensi pemodelan peredam energi dapat dilihat pada Tabel 3. Efisiensi reduksi tinggi loncatan hidraulik yang paling besar dihasilkan oleh pemodelan 3 dengan peredam sinusoidal, dengan efisiensi reduksi sebesar 31.82%.

**Tabel 3.** Efisiensi Penurunan Y2

Q <i>Sluice Gate</i> (m <sup>3</sup> /det)	Y2 (m) Model 0	Y2 (m) Model Ke-1	Efisiensi (%)
0.0042	0.030	0.030	0.00
0.0123	0.070	0.060	14.29
0.0162	0.085	0.075	11.76
0.0201	0.095	0.080	15.79
0.0240	0.100	0.085	15.00
0.0278	0.110	0.090	18.18
Q <i>Sluice Gate</i> (m <sup>3</sup> /det)	Y2 (m) Model 0	Y2 (m) Model Ke-2	Efisiensi (%)
0.0042	0.030	0.030	0.00
0.0123	0.070	0.060	14.29
0.0162	0.085	0.065	23.53
0.0201	0.095	0.075	21.05
0.0240	0.100	0.080	20.00
0.0278	0.110	0.085	22.73
Q <i>Sluice Gate</i> (m <sup>3</sup> /det)	Y2 (m) Model 0	Y2 (m) Model Ke-3	Efisiensi (%)
0.0042	0.030	0.030	0.00
0.0123	0.070	0.050	28.57
0.0162	0.085	0.060	29.41
0.0201	0.095	0.065	31.58
0.0240	0.100	0.070	30.00
0.0278	0.110	0.075	31.82

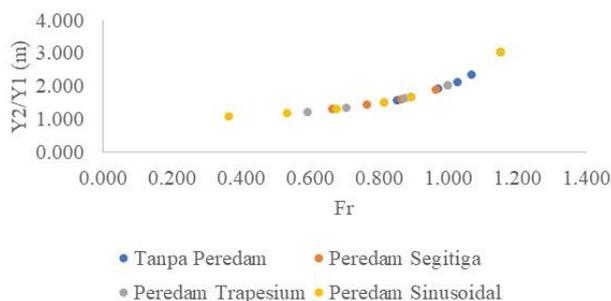
Berdasarkan Tabel 4, kecepatan aliran dan nilai bilangan Froude dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 dan 2. Nilai bilangan Froude terkecil didapatkan pada percobaan ke-3 dengan peredam sinusoidal. Nilai Fr pada bukaan pintu maksimum, yaitu 0.07 m memiliki nilai Fr sebesar 0.886 pada percobaan ke-0. Sedangkan untuk percobaan ke-1 dengan tinggi bukaan pintu yang sama, nilai Fr sebesar 0.667, untuk percobaan ke-2 sebesar 0.594, dan percobaan ke-3 sebesar 0.365.

Panjang lantai transisi terpanjang yang dibutuhkan pada percobaan ini yaitu 0.55 m pada percobaan ke-0, sedangkan pada percobaan ke-1 dibutuhkan lantai transisi terpanjang adalah 0.45 m. Pada percobaan ke-2 lantai transisi maksimum terpanjang adalah 0.43 m, dan pada percobaan ke-3 adalah 0.38 m. Hasil penelitian ini memiliki hasil yang sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Fathi-Moghadam et al (2011) yang menyatakan bahwa panjang lantai peredam dapat direduksi dengan menambah halangan di hilir peredam energi, karena sesuai dengan Persamaan 3, panjang lantai (Ld) dipengaruhi oleh nilai Fr dan nilai Fr dipengaruhi oleh rasio kedalaman (Y2/Y1).

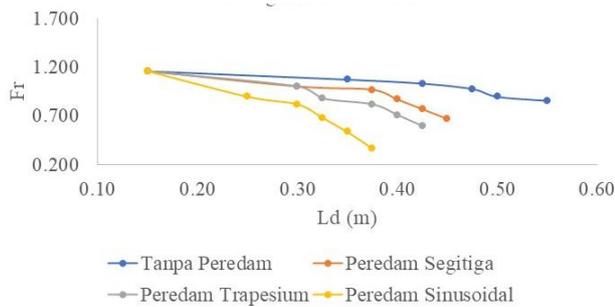
**Tabel 4.** Perhitungan Nilai Y2/Y1, V, Fr, dan Ld

Model	Y2/Y1 (m)	V (m/det)	Fr	Ld (m)
0	3.000	0.626	1.155	0.15
	2.333	0.886	1.069	0.35
	2.125	0.940	1.029	0.43
	1.900	0.940	0.973	0.48
	1.667	0.886	0.894	0.50
	1.571	0.886	0.853	0.55
1	3.000	0.626	1.155	0.15
	2.000	0.767	1.000	0.30
	1.875	0.829	0.966	0.38
	1.600	0.767	0.866	0.40
	1.417	0.700	0.767	0.43
	1.286	0.626	0.667	0.45
2	3.000	0.626	1.155	0.15
	2.000	0.767	1.000	0.30
	1.625	0.700	0.877	0.33
	1.500	0.700	0.816	0.38
	1.333	0.626	0.707	0.40
	1.214	0.542	0.594	0.43
3	3.000	0.626	1.155	0.15
	1.667	0.626	0.894	0.25
	1.500	0.626	0.816	0.30
	1.300	0.542	0.679	0.33
	1.167	0.443	0.535	0.35
	1.071	0.313	0.365	0.38

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan pola hubungan antara ketiga faktor tersebut untuk masing-masing debit yang dialirkan pada setiap model. Sesuai Tabel 4, Gambar 5 menunjukkan bahwa rasio kedalaman aliran (Y2/Y1) yang terkecil terjadi pada pemodelan dengan peredam sinusoidal. Sehingga nilai Fr dan Ld pada Gambar 6 yang terkecil juga terjadi pada pemodelan dengan peredam sinusoidal.



**Gambar 5.** Hubungan Fr dan Y2/Y1



Gambar 6. Hubungan Fr dan Ld

Berdasarkan hasil bacaan pada percobaan ke-0 hingga ke-3, maka dapat dilakukan verifikasi sesuai dengan Persamaan 4 dan pencatatan Y2 pada Tabel 2. Sehingga hasil verifikasi didapatkan seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Verifikasi Y2 pengukuran dan Y2 hitung

Model	Y1 (m)	Y2 Ukur (m)	Y2 Hitung (m)	Index of Agreement
0	0.010	0.030	0.016	0.985
	0.030	0.070	0.047	0.752
	0.040	0.085	0.062	1.000
	0.050	0.095	0.078	1.000
	0.060	0.100	0.094	0.957
	0.070	0.110	0.109	1.000
Rata-rata				0.95
1	0.010	0.030	0.016	0.977
	0.030	0.060	0.047	0.843
	0.040	0.075	0.062	1.000
	0.050	0.080	0.078	0.989
	0.060	0.085	0.094	0.950
	0.070	0.090	0.109	0.894
Rata-rata				0.94
2	0.010	0.030	0.016	0.972
	0.030	0.060	0.047	0.719
	0.040	0.065	0.062	0.636
	0.050	0.075	0.078	0.979
	0.060	0.080	0.094	0.894
	0.070	0.085	0.109	0.849
Rata-rata				0.84
3	0.010	0.030	0.016	0.959
	0.030	0.050	0.047	0.975
	0.040	0.060	0.062	0.820
	0.050	0.065	0.078	0.755
	0.060	0.070	0.094	0.746
	0.070	0.075	0.109	0.743
Rata-rata				0.83
Rata-rata total				0.89

Berdasarkan Tabel 5, diketahui bahwa rata-rata *index of agreement* untuk semua percobaan yaitu 0.89. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tinggi loncatan hidraulik (Y2) ukur sesuai dengan rumus empiris dengan keakuratan 89%. Berdasarkan Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa data hasil pengukuran sangat baik.

#### 4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa peredam di hilir *sluice gate* efektif mengurangi tinggi dan panjang loncatan hidraulik, yang berpengaruh pada kebutuhan panjang lantai transisi. Hasil uji eksperimental ini memiliki kesimpulan yang sama dengan penelitian yang dilakukan Nenny & Imran (2018) dan Azmeri et al (2021) bahwa semakin rapat peredam energi, maka semakin efektif untuk meredam loncatan hidraulik yang terjadi.

Berdasarkan hasil penelitian, semakin kasar bentuk peredam, maka semakin efektif. Pada penelitian ini didapatkan bahwa percobaan ke-3 dengan peredam di hilir *sluice gate* memiliki nilai tinggi dan loncatan hidraulik terkecil. Pada percobaan ke-3 dengan tinggi bukaan pintu maksimum 0.07 m, tinggi loncatan hidraulik yaitu 0.075 m dan panjang loncatan 0.16 m. Sehingga lantai transisi yang dibutuhkan adalah 0.38 m. Hasil penelitian ini juga membuktikan penelitian yang dilakukan Imran (2013), bahwa dasar saluran yang bergelombang lebih efektif mengontrol loncatan hidraulik dibanding dasar saluran yang lebih halus.

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya pada topik pembahasan ini adalah perlu adanya pemodelan menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamic*), sehingga dapat membandingkan hasil pemodelan di laboratorium dengan program komputer. Selain itu pembahasan tentang shear stress untuk masing-masing model peredam dan energi disipasi untuk variasi bilangan Froude juga dapat dibahas lebih lanjut.

#### DAFTAR PUSTAKA

Anonim. (2013). Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02. *Standar Perencanaan Irigasi*. Kementerian Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Direktorat Irigasi dan Rawa.

Abbaspour, A., Parvini, S., & Hosseinzadeh Dalir, A. (2016). Effect Of Buried Plates On Scour Profiles Downstream Of Hydraulic Jump In Open Channels With Horizontal And Reverse Bed Slopes. *Water Science and Engineering*, 9(4), 329–335.

Azmeri, A., Basri, H., Yulianur, A., Ziana, Z., Jemi, F. Z., & Rahmah, R. A. (2021). Hydraulic Jump And Energy Dissipation With Stepped Weir. *Journal of Water and Land Development*, 51, 56–61.

Binilang, A. (2014). Perilaku Hubungan Antar Parameter Hidrolis Air Loncat Melalui Pintu Sorong Pada Saluran Terbuka. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(1), 41–44.

Chow, Ven Te. (1985). *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Penerbit Airlangga.

El-Seddik, M. M. (2017). Annals Of Civil And Environmental Engineering Hydraulic Jump Experiment In A

- Rectangular Open Channel Flume. *Annals of Civil and Environmental Engineering*, 1, 42–48.
- Fahmiahsan, R., Mudjiatko, & Rinaldi. (2018). Fenomena Hidrolis Pada Pintu Sorong. *Jurnal Fakultas Teknik*, 5(1), 1–10.
- Imran, H. M., & Akib, S. (2013). A Review Of Hydraulic Jump Properties In Different Channel Bed Conditions. *Life Science Journal*, 10(2), 126–130.
- Kim, Y., Choi, G., Park, H., & Byeon, S. (2015). Hydraulic Jump And Energy Dissipation With Sluice Gate. *Water (Switzerland)*, 7(9), 5115–5133.
- Kodoatie, R J. (2005). *Hidrolika Terapan Aliran Pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Laksitaningtyas, A. P., Legono, D., & Yulistiyanto, B. (2020). Karakteristik Kecepatan Aliran Di Dekat Dasar Pintu Peluapan Bawah (Sluice Gate). *Jurnal Teknik Pengairan*, 11(1), 61–72.
- Fathi-Moghadam, M., Haghhighipour, S., Lashkar-Ara, B., & Aghtouman, P. (2011). Reduction of stilling basin length with tall end sill. *Journal of Hydrodynamic*, 23(4), 498–502.
- Nenny, & Imran, H. (2018). Studi Eksperimen Model Peredam Energi Terhadap Loncatan Hidrolik Pada Kolam Olakan. *Jurnal Ilmiah Techno Entrepreneur Acta*, 3(1), 21–28.
- Nurjanah, D. (2014). Analisis Tinggi Dan Panjang Loncat Air Pada Bangunan Ukur Berbentuk Setengah Lingkaran. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(3), 578–582.
- Nurnawaty, Rakhim, A., Safitri, M., & Muhaemina. (2021). Loncatan Hidrolik Pada Hilir Pintu Sorong Dengan dan Tanpa Ambang Akibat Variasi Tinggi Bukaannya Pintu. *Jurnal Teknik Hidro*, 14(1), 1–7.
- Rafelia, A., Kamiana, I. M., & Nindito, D. A. (2021). Pengaruh Pemasangan Model Tiang Berbahan Bambu Kuning Di Hilir Pintu Air Terhadap Energi Spesifik. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 4(1), 306.
- Subramanya, K. (1986). *Flow in Open Channel*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.