

Kajian Panjang Loncatan Hidrolik Pada Model Fisik Kolam Olak Bendungan Krueng Kluet Kabupaten Aceh Selatan

Qurratul Aini Benti Nasaiy¹⁾, Eldina Fatimah²⁾, Azmeri³⁾

¹⁾Magister Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh, Indonesia

^{2, 3)}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh, Indonesia

Email: qurratul.23bn@gmail.com¹⁾, eldinafatimah@unsyiah.ac.id²⁾,
azmeri@unsyiah.ac.id³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v12i1.619>

(Received: September 2021 / Revised: January 2022 / Accepted: February 2022)

Abstrak

Kolam olak merupakan bangunan utama pelimpah yang berfungsi meredam energi pada bendungan. Bangunan ini memanfaatkan pembentukan loncatan hidrolik dalam prinsip peredamannya. Loncatan ini terjadi akibat adanya perubahan aliran dari superkritis menjadi subkritis. Fenomena tersebut dapat menimbulkan turbulensi yang berpotensi menggerus bagian dasar dan hilir bangunan bila tanpa adanya kolam olak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik loncatan hidrolik yang terjadi di kolam olak bangunan pelimpah Bendungan Krueng Kluet Aceh Selatan secara model fisik. Bangunan tersebut menggunakan model tak distorsi dengan skala 1:60 di Laboratorium Sungai dan Pantai Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh. Observasi dan pengukuran dilakukan terhadap panjang loncatan hidrolik (L_j), kedalaman aliran (y_1 dan y_2), dan kecepatan aliran (v) pada variasi debit (Q) dengan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100 dan 1000 tahun. Pengujian dilakukan terhadap 2 seri bangunan, yaitu seri awal (S_0) dan akhir (S_1). Kolam olak S_0 menggunakan tipe *United States Bureau of Reclamation* (USBR) III. Sedangkan S_1 dibuat dengan menambahkan *adversed slope* dengan kemiringan 1:2 di hilirnya dan menurunkan elevasi dasarnya sedalam 4 m. Hasil observasi memperlihatkan bahwa model S_1 menghasilkan rerata rasio L_j/y_1 (panjang loncatan) <20-40 % lebih pendek dibandingkan model S_0 . Selain itu pola disipasi energi yang terjadi pada S_1 cenderung lebih meningkat seiring meningkatnya Q dengan kehilangan energi ($\Delta E/y_1$) maksimum yang diperoleh adalah sebesar 42,6 (lebih besar dari yang dihasilkan oleh S_0). Sehingga dapat disimpulkan bahwa dasar dan hilir kolam olak model S_1 lebih aman dibandingkan dengan model S_0 .

Kata Kunci: *Bendungan Krueng Kluet, Kolam Olak, Loncatan Hidrolik, Disipasi Energi, Model Fisik*

Abstract

The spillway's major structure, stilling basin, serves to minimize the energy in the dam. The damping principle of this structure is based on the production of hydraulic jumps. A change in flow from supercritical to subcritical causes this jump. In the absence of a stilling basin, the phenomena might generate turbulence, which has the ability to undermine the bottom and downstream of the building. The goal of this research is to use a physical model to evaluate the characteristics of the hydraulic jump that happens in the stilling basin of the Krueng Kluet Dam in South Aceh. The construction was built with a scale of 1:60 (an undistorted model) in The River and Coast Laboratory, Faculty of Engineering, Syiah Kuala University. The hydraulic jump length (L_j), flow depth (y_1 and y_2), and flow velocity (v) at various discharges (Q) with return periods of 2, 5, 10,

25, 50, 100, and 1000 years were observed and measured. The tests were conducted on two types of structures: original series (S_0) and final series (S_1). The United States Bureau of Reclamation (USBR) III type is used in the stilling basin S_0 . While S_1 is made by adding an adverse slope with a slope of 1:2 downstream and lowering its bottom elevation to a depth of 4 m. Observation results show that the S_1 model produces an average ratio of L_j/y_1 (jump length) < 20-40% shorter than the S_0 model. In addition, the pattern of energy dissipation that occurs in S_1 tends to increase by increasing Q with the maximum energy loss ($\Delta E/y_1$) obtained is 42.6 (greater than that produced by S_0). So it can be concluded that the bottom and downstream of the stilling basin mode S_1 is safer than the model S_0 .

Keywords: *Krueng Kluet Dam, Stilling Basin, Hydraulic Jump, Energy Dissipation, Physical Model*

1. Latar Belakang

Pengelolaan sumber daya air sangat erat kaitannya dengan konservasi sumber daya air untuk menjamin ketersediaan air, pendistribusian dan pemanfaatan sumber daya air, serta pengendalian daya rusak air yang diakibatkan oleh kelebihan air dan kualitas air. Salah satu konstruksi yang dapat mengoptimalkan semua kegiatan pengelolaan sumber daya air ini adalah bendungan. Bangunan ini dapat memberikan manfaat selain dalam hal penyediaan air irigasi, tenaga listrik, obyek pariwisata, budidaya perikanan air tawar, tetapi juga bekerja efektif dalam meredam banjir di hulu atau pengendalian banjir (Suprihati, 2014). Suatu kegiatan perencanaan detail berupa bendungan pada Krueng Kluet telah dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air khususnya bagi penduduk di wilayah Kabupaten Aceh Selatan. Selain itu, perencanaan ini juga merupakan salah satu upaya pemerintah dalam menanggulangi banjir dan mengatasi kekeringan di Aceh Selatan. Berdasarkan data kejadian bencana yang disajikan pada Geoportal Kebencanaan (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2021), banjir selalu terjadi setiap tahun di Kabupaten Aceh Selatan dengan catatan 40 kejadian banjir dalam kurun waktu 2016-2021. Sedangkan pada awal tahun 2021, telah terjadi kekeringan pada puluhan hektar lahan sawah dan terancam gagal tanam (Thetapaktuanpost.com)

Salah satu bangunan yang direncanakan secara detail dalam Perencanaan Bendungan Kr. Kluet adalah bangunan pelimpah tipe pelimpah samping yang terdiri dari mercu pelimpah, saluran samping, saluran transisi, saluran peluncur dan peredam energi. Jenis peredam energi yang direncanakan berupa kolam olak (*stilling basin*). Kolam olak memanfaatkan loncatan hidrolis dari suatu aliran berkecepatan tinggi pada prinsip peredamannya (Sosrodarsono & Takeda, 1977). Aliran superkritis ini dapat terjadi akibat limpasan setelah peninggian muka air di atas pelimpah yang berada di hulu. Ketika aliran dengan kecepatan tinggi mengalir ke zona dengan kecepatan lebih rendah, maka akan terjadi kenaikan yang tiba-tiba di permukaan. Aliran yang mengalir cepat secara tiba-tiba diperlambat dan menambah elevasi muka air. Kondisi ini mengubah sebagian energi kinetik awal aliran menjadi peningkatan energi potensial, dengan sebagian energi hilang secara permanen melalui turbulensi (disipasi energi). Perubahan kecepatan secara tiba-tiba ini menyebabkan penumpukan yang berbentuk seperti gelombang air (Gupta et al., 2013). Fenomena ini disebut sebagai loncatan hidrolis (*hydraulic jump*). Loncatan tersebut dapat menimbulkan pusaran (*vortex*) yang menciptakan gerusan (*scouring*) lokal pada bagian dasar dan hilir bangunan tanpa perlindungan (Zulfan, 2017). Hal ini dapat terjadi karena energi yang dihasilkan oleh aliran air dari hulu cukup besar,

oleh karena itu, energi tersebut harus didisipasi hingga mencapai kondisi normal kembali untuk mengurangi potensi erosi di tepi dan dasar sungai sebagai hilir dari bendungan. Sehingga aliran yang kembali ke sungai tersebut tidak merusak kestabilan alur (Ulfiana, 2018). Perencanaan kolam olak yang tidak tepat dapat menyebabkan kerusakan pada hilir (ujung) bangunan pelimpah seperti yang terjadi pada Bendung Jamuan, Aceh Utara. Arief, 2018 menilai bahwa arah jatuh loncatan hidrolis yang terjadi pada kolam olak tipe bak pusaran tidak sesuai untuk kondisi hilir bendung tersebut. Yadav et al., 2017 menambahkan bahwa banyak bendungan di seluruh dunia yang telah dilaporkan ditemui permasalahan pada pengaturan disipasi energi.

Beberapa modifikasi kolam olak telah dilakukan untuk mengkaji disipasi energi yang terjadi pada loncatan hidrolis. Model peredam energi (MPE) yang dilengkapi *baffle block* telah diteliti secara eksperimental oleh Nenny & Imran, 2018. Berdasarkan hasil pengamatan dari beberapa variasi model peredam energi (MPE), penempatan *baffle block* pada kolam olak sangat mempengaruhi besaran loncatan. Pada model peredam energi yang tidak dilengkapi *baffle block*, loncatan yang terjadi sangat besar dibandingkan MPE yang dilengkapi *baffle block*. Rekomendasi terhadap desain akhir Bendungan Saka Gilas, Sumatera Selatan telah diberikan oleh Lufira et al., 2019 melalui model fisik. Perubahan atau modifikasi yang dilakukan pada kolam olak model desain awal ke model desain akhir penurunan dasar kolam olak dengan lebar dan panjang kolam yang tidak berubah, serta penempatan *sill* pada ujung kolam olak. Hasil modifikasi yang akhir adalah modifikasi desain dengan hasil kinerja hidrolis terbaik. Selain itu simulasi-simulasi numerik juga telah dikerjakan untuk mengidentifikasi fenomena loncatan hidrolis. Babaali et al., 2019 menambahkan kemiringan yang berlawanan (*end adverse slope*) pada ujung kolam olak USBR Tipe II Bendungan Nazloochoy, Iran. Model numerik dengan menggunakan *software* Flow 3D dilakukan untuk mensimulasi aliran yang terjadi. Hasil menunjukkan bahwa disipasi turbulensi terjadi pada 20-30% awal dari kolam olak. Hal ini mengindikasikan kombinasi ini efektif untuk digunakan.

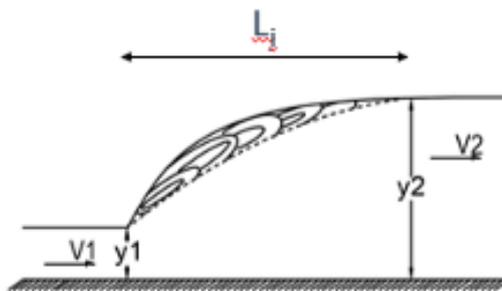
Karakteristik loncatan hidrolis khususnya tinggi panjang loncatan dan besar disipasi energi yang terjadi pada kolam olak ini perlu diidentifikasi menggunakan uji model fisik untuk memberikan keyakinan suatu perencanaan. Model fisik dapat memprediksi fenomena-fenomena yang akan terjadi pada bangunan dan lingkungan sekitar dari prototip. Fenomena tersebut dapat diformulasikan dan diberikan solusi agar resiko kegagalan dan kerusakan konstruksi dari suatu perencanaan dapat dihindari. Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 37 tahun 2010 Pasal 152 Ayat (2), uji model fisik merupakan salah satu syarat dalam melengkapi dokumen perencanaan bendungan. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengkaji panjang loncatan hidrolis dan disipasi energi yang dihasilkan pada kolam olak sesuai perencanaan Bendungan Krueng Kluet, Aceh Selatan yaitu dengan menggunakan tipe kolam olak USBR III. Selanjutnya hasil analisis kondisi awal (seri awal/ S_0) ini digunakan untuk referensi dalam membuat alternatif desain berikutnya (seri akhir/ S_1), sehingga didapatkan desain kolam olak yang aman terhadap panjang loncatan hidrolis yang terjadi.

Pengujian yang dilakukan berupa pengujian kondisi aliran dengan menggunakan model peredam energi (kolam olak) dengan skala tak distorsi 1:60. Data yang dianalisis berupa data profil aliran, kecepatan aliran dan panjang

loncatan hidrolik yang terjadi dengan pengaliran debit *outflow* pelimpah periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100 dan 1000 tahun. Penelitian ini menghasilkan desain yang optimal dan diharapkan dapat menjadi masukan dalam penyempurnaan Perencanaan Bendungan Krueng Kluet, Kabupaten Aceh Selatan.

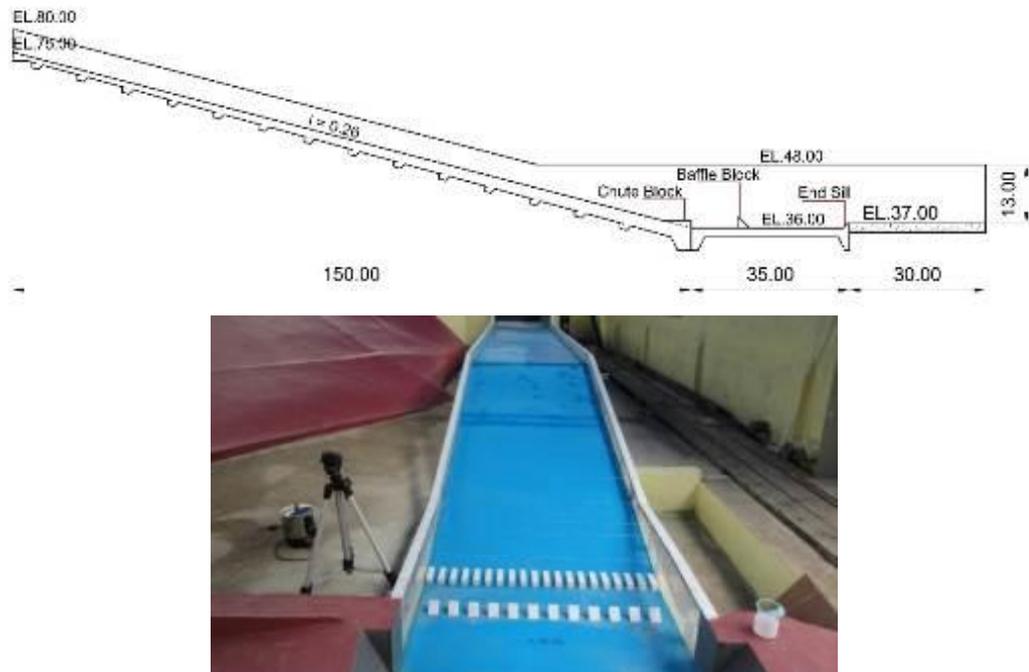
2. Metode Penelitian

Pengujian laboratorium dengan model fisik tiga dimensi dilakukan untuk melakukan pengkajian terhadap loncatan hidrolik pada bangunan kolam olak Bendungan Kr. Kluet, Aceh Selatan yang tersedia di Laboratorium Sungai dan Pantai Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala. Sirkulasi air dilakukan secara siklus terbuka dengan menggunakan sistem pompa. Pengaliran debit air dimulai dari kolam tampungan bawah menuju tampungan atas yang berbentuk saluran terbuka. Aliran yang keluar dari saluran terbuka tersebut melewati alat pengukur debit *outflow* berupa peluap berbentuk segiempat (*rechbox*). Debit *outflow* yang keluar dialirkan ke model sistem pelimpah samping bendungan sampai ke hilir bendungan, dan dilakukan pengukuran untuk pengambilan data primer pada bagian kolam olak. Variasi debit yang dialirkan ke dalam model fisik sesuai dengan perencanaan yaitu debit periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100, dan 1000 tahun sebesar $514,7 \text{ m}^3/\text{d}$, $672,2 \text{ m}^3/\text{d}$, $807,5 \text{ m}^3/\text{d}$, $1018,5 \text{ m}^3/\text{d}$, $1210,8 \text{ m}^3/\text{d}$, $1495,7 \text{ m}^3/\text{d}$, $1702,3 \text{ m}^3/\text{d}$. Pengambilan data primer untuk analisis loncatan hidrolik yaitu pengukuran y_1 (tinggi muka air sebelum loncatan), y_2 (tinggi muka air setelah loncatan), tinggi kecepatan pada hulu loncatan (hv_1), tinggi kecepatan pada hilir loncatan (hv_2), dan panjang loncatan (L_j) pada pias kiri, tengah dan kanan saluran. Penentuan posisi parameter-parameter tersebut dilakukan berdasarkan skema dari visualisasi loncatan hidrolik pada Gambar 1. *Point gauge* digunakan untuk pengukuran tinggi muka air dan *pitot tube* digunakan untuk pengukuran tinggi kecepatan aliran. Selain itu juga dilakukan pencatatan posisi awal dan akhir loncatan untuk menentukan panjang loncatan hidrolik ukur.



Gambar 1 Skema visualisasi loncatan hidrolik

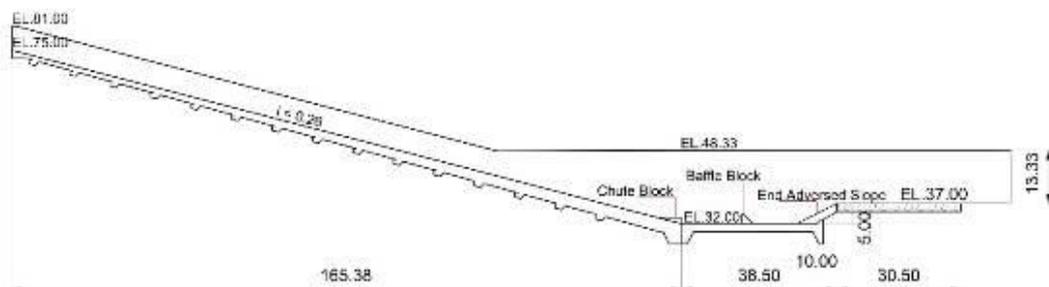
Pada penelitian ini dilakukan 2 seri pengujian, yaitu desain awal (S_0) dan desain modifikasi (S_1). Pengujian pada S_0 dilakukan terlebih dahulu, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap S_1 setelah modifikasi dilakukan. Model fisik pelimpah dibangun dengan mengacu pada gambar perencanaan (*original design*) seperti pada Lampiran A.1 (halaman 13) yang telah disusun oleh Dinas Pengairan Provinsi Aceh, 2017. Kolam olak S_0 menggunakan kolam olak USBR III seperti pada gambar perencanaan. Desain tampak samping bangunan kolam olak dan tampilan model kolam olak S_0 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Desain tampak samping dan tampilan model kolam olak S_0

Model kolam olak S_1 (seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4) yang digunakan adalah kolam olak USBR III yang telah dilakukan modifikasi. Perubahan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- penurunan elevasi kolam olak sedalam 4 m untuk menghasilkan *Tail Water Level* (TWL) yang lebih tinggi,
- penambahan panjang kolam olak sejauh 3,5 m dan rip-rap sejauh 0,5 m dari desain S_0 untuk meningkatkan efektifitas redaman,
- penambahan ketinggian *endsill* dengan kemiringan yang berlawanan dari peluncur (*adversed slope*) setinggi 5 m dan perbandingan kemiringan sebesar 1:2 pada ujung kolam olak. Bangunan ini dibuat untuk menstabilkan loncatan hidrolis agar tetap berada di dalam saluran kolam olak, dan
- peninggian dinding saluran kolam olak juga dilakukan setinggi 0.3 m untuk mencegah limpasan air.



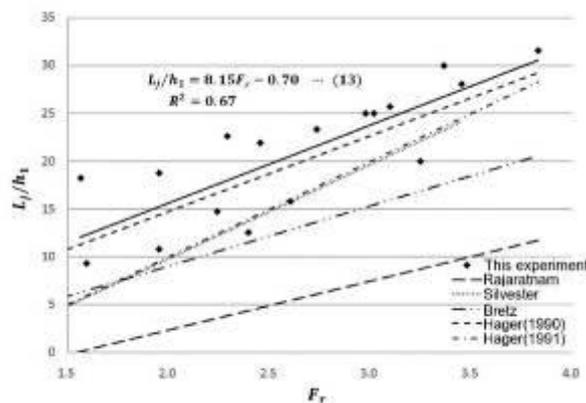
Gambar 3 Desain tampak samping



Gambar 4 Desain tampilan model kolam olak S₁

Panjang loncatan (L_j) merupakan faktor penting dalam desain kolam olak. Posisi awal atau akhir loncatan dapat dengan mudah ditetapkan sebagai posisi rata-rata dari osilasi pada kenaikan permukaan air secara tiba-tiba. Tapi belum ada kesepakatan umum mengenai lokasi akhir loncatan dan telah menjadi isu perdebatan. Sulistiono & Makrup, 2017 merangkum bahwa peneliti-peneliti sepakat dengan persamaan panjang loncatan merupakan fungsi dari y_2 (tinggi muka air setelah loncatan) dan y_1 (tinggi muka air sebelum loncatan).

Kim et al., 2015 melakukan observasi terhadap loncatan hidrolis yang terjadi dengan penempatan pintu air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang relatif loncatan hidrolis (L_j/y_1) umumnya cenderung meningkat seiring dengan peningkatan Bilangan Froude sebelum loncatan (F_{r1}) sebagai parameter debit. Hal ini sejalan dengan hasil identifikasi loncatan hidrolis bebas (*free jump*) oleh Gupta et al., 2013 dalam sebuah *flume* yang dilengkapi oleh sebuah pintu air dan pada loncatan hidrolis tenggelam (*submerged jump*) oleh Moussa et al., 2018.



Gambar 5 Hubungan Bilangan Froude terhadap Panjang Loncatan Hidrolis

Sumber: Kim et al., 2015

Gupta et al., 2013 juga menggambarkan loncatan hidrolis yang terjadi per unit satuan debit (q) dengan menggunakan model pintu air dan bendung. Hasil analisis menunjukkan terjadinya peningkatan panjang loncatan hidrolis pada penambahan pengaliran debit. AlTalib et al., 2019 menambahkan bahwa penambahan panjang relatif loncatan hidrolis (L_j/y_1) meningkatkan efek dari disipasi energi ($\Delta E/y_1$).

Disipasi energi (ΔE) untuk lompatan yang terendam dihitung dengan selisih antara tinggi energi sebelum (E_0) dan setelah lompatan (E_1). Sedangkan E_0 dan E_1 merupakan energi spesifik yang dapat dihitung seperti persamaan berikut (Padulano et al., 2017).

Energi spesifik:

$$E = y_i + \frac{v_i^2}{2g} \quad (1)$$

Disipasi energi:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \left(y_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left(y_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right) \quad (2)$$

Dengan:

g = gaya gravitasi (m/d^2);

v_1 = kecepatan aliran sebelum loncatan (m/d); dan

v_2 = kecepatan aliran setelah loncatan (m/d).

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis data hasil perhitungan variabel-variabel yang berpengaruh (Tabel 1) pada perilaku loncatan hidrolis dilakukan terlebih dahulu pada model S_0 dan dilanjutkan pada model S_1 . Hubungan antara parameter debit terhadap panjang loncatan hidrolis dan besaran disipasi energi sebagai berikut.

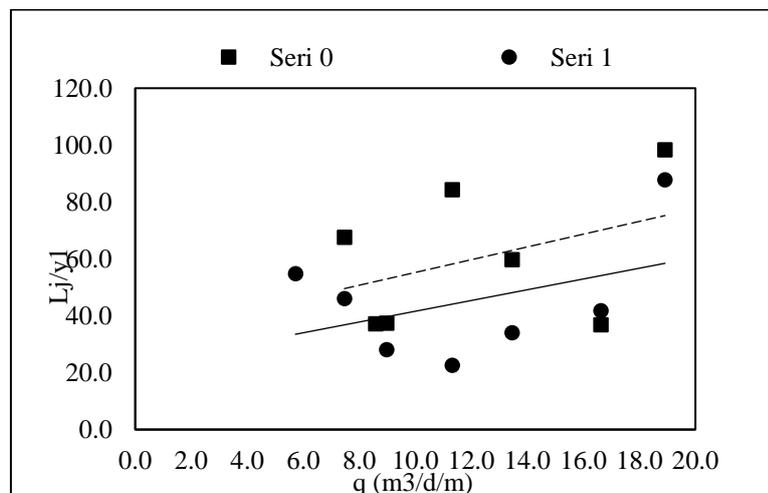
Tabel 1 Data hasil perhitungan S_0 dan S_1

Seri Awal (S_0)											
Uraian	Q (m^3/d)	q ($m^3/d/m$)	y_1 (m)	y_2 (m)	v_1 (m/d)	v_2 (m/d)	L_j (m)	Fr_1	ΔE (m)	L_j/y_1	$\Delta E/y_1$
Q2	514.7	8.578	0.860	3.000	20.794	5.910	31.880	7.157	19.950	37.070	23.196
Q5	672.2	7.469	0.560	2.600	20.965	6.353	37.840	8.993	18.306	67.571	32.690
Q10	807.5	8.972	1.020	3.220	22.749	7.361	38.060	7.226	21.415	37.314	20.995
Q25	1018.5	11.317	0.540	4.420	22.277	6.705	45.500	9.768	20.300	84.259	37.591
Q50	1210.8	13.453	0.860	5.700	23.270	4.999	51.280	7.831	20.006	59.628	23.264
Q100	1495.7	16.618	1.560	7.580	18.199	6.667	57.400	4.660	7.966	36.795	5.107
Q1000	1702.3	18.915	1.120	2.120	17.992	8.519	110.100	5.468	4.285	98.304	3.826
Seri Modifikasi (S_1)											
Uraian	Q (m^3/d)	q ($m^3/d/m$)	y_1 (m)	y_2 (m)	v_1 (m/d)	v_2 (m/d)	L_j (m)	Fr_1	ΔE (m)	L_j/y_1	$\Delta E/y_1$
Q2	514.7	8.578	0.480	8.380	19.189	3.004	26.260	8.949	10.377	54.708	21.619
Q5	672.2	7.469	0.800	8.880	22.537	1.584	36.820	8.278	17.691	46.025	22.114
Q10	807.5	8.972	1.490	8.270	24.252	2.813	41.720	6.345	22.764	28.000	15.278
Q25	1018.5	11.317	2.150	9.233	25.971	4.097	48.320	5.655	26.441	22.474	12.298
Q50	1210.8	13.453	1.610	6.280	19.094	4.802	54.660	4.805	12.732	33.950	7.908
Q100	1495.7	16.618	1.430	4.517	22.965	4.693	59.700	6.132	22.644	41.748	15.835
Q1000	1702.3	18.915	0.730	4.380	26.665	5.343	64.060	9.986	31.127	87.753	42.639

Pada Tabel 1 dapat diamati bahwa masing-masing seri kolam olak menghasilkan Fr_1 berkisar antara 4,5-10. Namun model kolam olak seri 0 menghasilkan Fr_1 yang fluktuatif atau tidak beraturan pada setiap perubahan

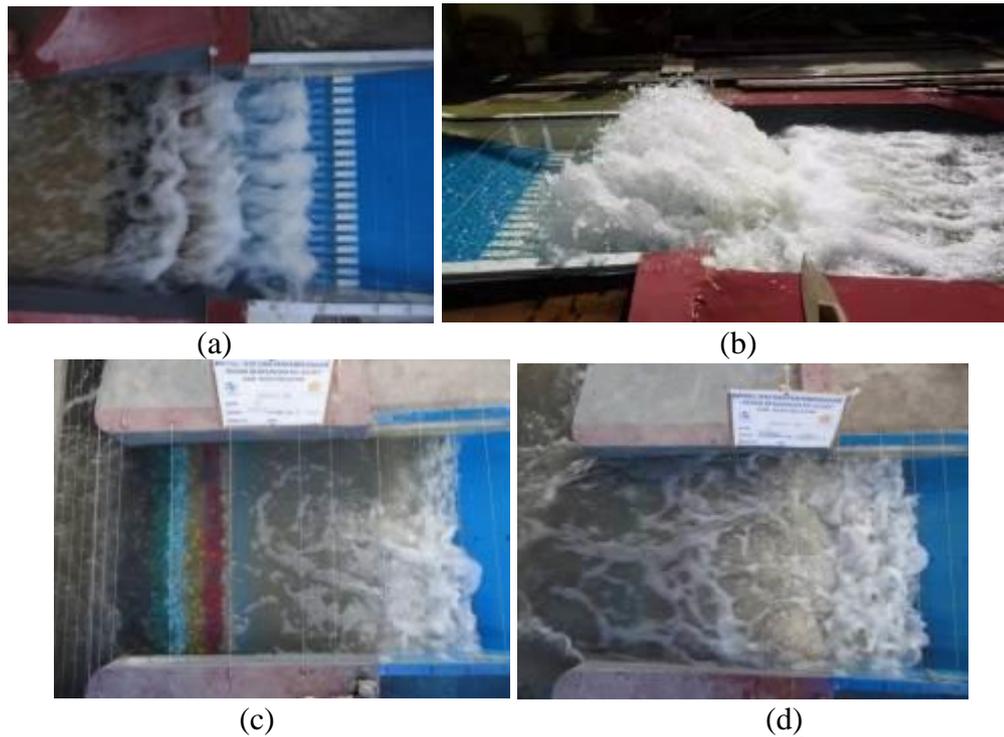
kenaikan besar debit pengaliran. Nilai Fr_1 maksimum yaitu, 9,768 diperoleh pada Q25 dan Fr_1 sebesar 8,993 dihasilkan pada Q5. Sedangkan pada Q100 menghasilkan Fr_1 sebesar 4,660 dan Q1000 mendapatkan Fr_1 sebesar 5,468 yang merupakan nilai minimum. Sedangkan pada kolam olak seri 1, y_1 yang ditimbulkan meningkat pada kenaikan debit pengaliran Q2, Q5, Q10, Q25, dan Q50, sehingga Fr_1 yang dihasilkan menunjukkan penurunan. Selanjutnya terjadi penurunan y_1 pada pengaliran debit maksimum Q100 dan Q1000 menyebabkan kenaikan Fr_1 . Selain itu dapat dilihat pula kolam olak S_1 menimbulkan kecepatan aliran setelah loncatan (v_2) yang lebih rendah dibandingkan kolam olak S_0 .

Pola parameter tak berdimensi seperti L_j/y_1 dan $\Delta E/y_1$ dibahas pada grafik-grafik berikut ini. Grafik-grafik yang menunjukkan pola pengaruh masing-masing parameter kajian di bawah ini digambarkan sesuai dengan perolehan angka pada tabel hasil perhitungan. Gambar 6 memperlihatkan bahwa adanya peningkatan panjang relatif loncatan hidrolis (L_j/y_1) pada setiap kenaikan besaran debit aliran (q) untuk masing-masing model S_0 dan S_1 . Namun rata-rata rasio L_j/y_1 untuk setiap debit satuan (q) pada S_1 lebih kecil dibandingkan dengan S_0 yaitu pada debit 11,203 $m^3/d/m$, 13,458 $m^3/d/m$, 16,975 $m^3/d/m$, 20,180 $m^3/d/m$, dan 28,372 $m^3/d/m$. Selain itu, L_j/y_1 maksimum yang diperoleh S_0 dan S_1 masing-masing adalah 98,304 dan 87,753. Hal ini menunjukkan bahwa loncatan hidrolis yang terjadi pada S_0 umumnya lebih panjang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kolam olak pada perencanaan awal tersebut tidak bekerja optimal untuk menstabilkan loncatan air agar tidak mencapai daerah hilir bendungan.

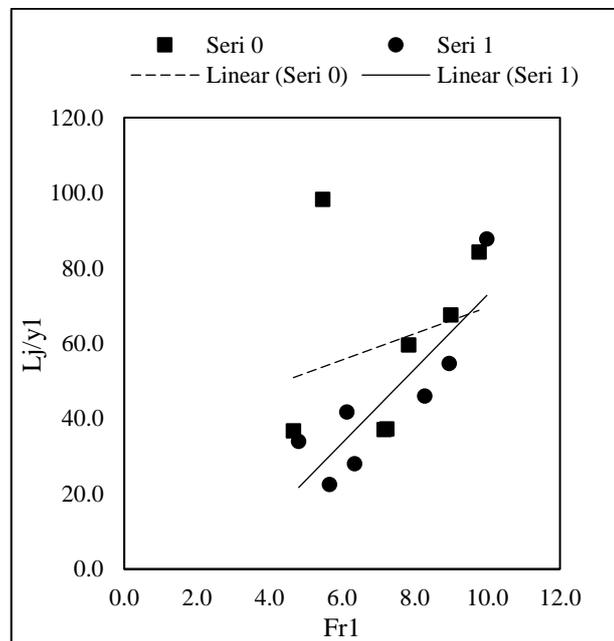


Gambar 6 Grafik hubungan debit satuan (q) terhadap Panjang relatif loncatan hidrolis (L_j/y_1)

Visualisasi loncatan hidrolis yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 7 memperlihatkan bahwa posisi awal loncatan berada di tengah kolam olak pada S_0 , berbeda dengan S_1 yang membentuk awal loncatan pada posisi depan kolam olak. Selain itu, loncatan pada debit Q2 tahun untuk S_0 berakhir pada riprap, sedangkan pada S_1 , loncatan telah berakhir sebelum memasuki riprap. Hal ini dapat terjadi disebabkan loncatan pada S_0 membentuk ombak yang tinggi akibat benturan terhadap *baffle block*. Area jatuh ombak tersebut berada pada daerah rip-rap dan menimbulkan ombak kecil yang baru pada area tersebut, sehingga memperpanjang daerah loncatan.



Gambar 7 Kondisi loncatan hidrolis: (a) S_0 pada debit $514,7 \text{ m}^3/\text{d}$ (Q2 tahun), (b) S_0 pada debit $1495,7 \text{ m}^3/\text{d}$ (Q100 tahun), (c) S_1 pada debit $514,7 \text{ m}^3/\text{d}$ (Q2 tahun), (d) S_1 pada debit $1495,7 \text{ m}^3/\text{d}$ (Q100 tahun)

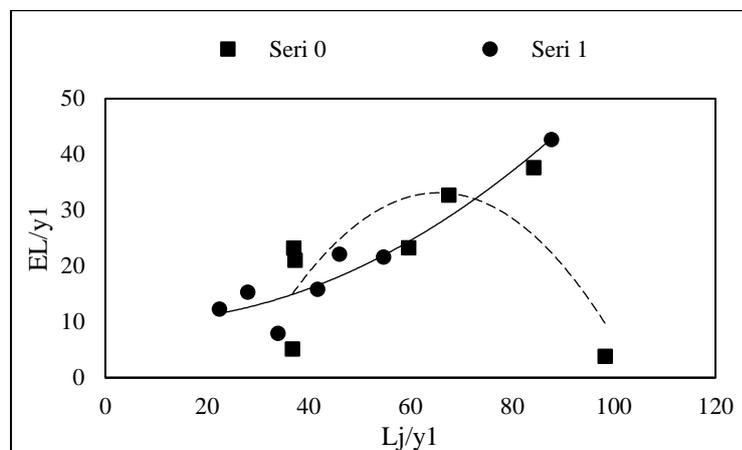


Gambar 8 Grafik Hubungan angka Froude sebelum loncatan (Fr_1) terhadap panjang relatif loncatan hidrolis (L_j/y_1)

Grafik hubungan Fr_1 terhadap rasio (L_j/y_1) pada Gambar 8 lebih memperjelas hubungan linear antar kedua parameter. Kemiringan garis yang terbentuk pada S_1 lebih curam dibandingkan pada S_0 . Hal ini menandakan bahwa

peningkatan panjang loncatan yang dihasilkan S_1 cenderung lebih proporsional dan signifikan terhadap Fr sesuai dengan hasil yang telah diidentifikasi oleh Kim, dkk (2015) dan Gupta, dkk (2013). Saat Fr_1 menunjukkan angka 6, rasio L_j/y_1 seri 0 bernilai 55,6 yaitu 1,6 kali lebih besar dari nilai $L_j/y_1 = 33,5$ seri 1. Sedangkan pada $Fr_1 = 8$, L_j/y_1 seri 0 bernilai 62,6 yaitu 1,2 kali lebih besar dari nilai $L_j/y_1 = 53,2$ seri 1. Hal ini menandakan peningkatan panjang loncatan yang dihasilkan S_1 cenderung lebih proporsional dan signifikan terhadap Fr_1 .

Selain dari bentuk loncatan yang terjadi, pola disipasi energi yang dihasilkan oleh loncatan hidrolis juga dapat diidentifikasi seperti pada Gambar 6. Disipasi energi merupakan hal penting yang perlu dikaji di dalam menentukan desain kolam olak yang optimal. Grafik di bawah memperlihatkan bahwa pola disipasi energi yang terjadi pada S_1 lebih mendekati dengan hasil yang dikemukakan oleh AlTalib et al., 2019.



Gambar 9 Grafik Hubungan rasio panjang loncatan hidrolis (L_j/y_1) terhadap kehilangan energi relatif (EL/y_1)

Pada kolam olak S_0 , tidak terlihat terjadinya peningkatan peredaman energi pada setiap penambahan panjang loncatan hidrolis berbeda halnya dengan pola peredaman S_1 . Pada kolam olak S_1 , kehilangan energi relatif yang dihasilkan meningkat seiring pertambahan panjang relatif loncatan hidrolis. Panjang loncatan minimum yaitu 22,474 m yang diamati mendisipasi energi sebesar 12,298 m pada setiap 1 m y_1 yang timbul. Begitupun disipasi energi terbesar yaitu 42,639 m per 1 m y_1 terjadi pada $L_j/y_1 = 87,753$ (maksimum). Sedangkan pada kolam olak seri 0, kehilangan energi meningkat sampai L_j/y_1 mencapai 67,571, selanjutnya terjadi penurunan $\Delta E/y_1$ pada L_j/y_1 maksimum. Hal ini mengindikasikan pelepasan energi yang dihasilkan pada panjang loncatan maksimum sangat kecil. Sehingga dapat disimpulkan bahwa loncatan hidrolis yang terbentuk pada S_1 lebih efisien dalam mendisipasi energi dan lebih memberikan keamanan pada hilir bangunan.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini menyajikan penilaian terhadap loncatan hidrolis pada kolam olak S_0 dan S_1 . Hasil analisis menunjukkan model kolam olak S_1 dinilai lebih optimal dibandingkan model S_0 . Pada formasi loncatan yang terbentuk, S_1 dinilai lebih stabil. Selain itu, panjang loncatan yang dihasilkan cenderung lebih pendek

dengan besaran kehilangan energi yang lebih efisien dibandingkan desain kolam olak S_0 . Pada kolam olak S_0 , panjang loncatan relatif yang ditimbulkan lebih besar 1,2-1,6 kali S_1 . Selain itu, juga dapat diamati bahwa hampir tidak terjadi pelepasan energi (disipasi energi) pada panjang relatif loncatan maksimum yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi desain kolam olak USBR III dengan penurunan elevasi kolam olak dan penambahan *adversed slope endsill* dapat menstabilkan loncatan hidrolis yang terbentuk agar tetap berada di dalam kolam olak dan juga dapat mendisipasi energi lebih baik.

4.2 Saran

Modifikasi kolam olak dengan model fisik ataupun model numerik dapat dilakukan dengan beberapa alternatif lain seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Pemodelan ini sangat berguna pada metode optimasi perencanaan suatu bangunan bendungan.

Daftar Kepustakaan

- AlTalib, A. N., Mohammed, A. Y., & Hayawi, H. A. (2019). Hydraulic jump and energy dissipation downstream stepped weir. *Flow Measurement and Instrumentation*, 69(July), 101616. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2019.101616>
- Arief, A. (2018). Studi Rehabilitasi Kerusakan Bendung Jamuan di Desa Sawang Kabupaten Aceh Utara. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 2(1), 90–103. <http://www.riset.unisma.ac.id/index.php/ft/article/view/1692>
- Babaali, H., Mojtahedi, A., Soori, N., & Soori, S. (2019). *Numerical Modeling of Flow in USBR II Stilling Basin with End Adverse Slope*. 13(2), 62–68.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2021). *Data Kejadian Banjir Indonesia Tahun 2016-2021*. <https://Gis.Bnpb.Go.Id/>.
- Dinas Pengairan Provinsi Aceh. (2017). *Laporan Nota Desain, SID Bendungan Kr. Kluet Kabupaten Aceh Selatan (Otsus Aceh)*. Dinas Pengairan Aceh.
- Gupta, S. K., Mehta, R. C., & Dwivedi, V. K. (2013). Modeling of relative length and relative energy loss of free hydraulic jump in horizontal prismatic channel. *Procedia Engineering*, 51(NUiCONE 2012), 529–537. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.075>
- Kim, Y., Choi, G., Park, H., & Byeon, S. (2015). Hydraulic jump and energy dissipation with sluice gate. *Water (Switzerland)*, 7(9), 5115–5133. <https://doi.org/10.3390/w7095115>
- Lufira, R. D., Sajali, M. A., Marsudi, S., & Dermawan, V. (2019). Uji Model Fisik Bangunan Pelimpah Bendungan Saka Gilas Dengan Skala 1:50. *Jurnal Teknik Pengairan*, 10(1), 63–73. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2019.010.01.7>
- Moussa, Y. A., Ali, A. I. A. M., & Saleh, Y. K. (2018). Performance of sills over aprons under the effect of submerged hydraulic jump, (case study: Naga Hammadi Barrage). *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 1365–1374. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.09.005>

- Nenny, & Imran, H. Al. (2018). Studi Eksperimen Model Peredam Energi Terhadap Loncatan Hidrolik Pada Kolam Olakan Experimental Study Model Energy Absorbers Hydraulic Pendahuluan. *Jurnal Ilmiah Techno Entrepreneur Acta*, 3(1), 21–28.
- Padulano, R., Fecarotta, O., Del Giudice, G., & Carravetta, A. (2017). Hydraulic Design of a USBR Type II Stilling Basin. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(5), 04017001. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0001150](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001150)
- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (1977). Bendungan Type Urugan. *Pradnya Paramita*, 327.
- Sulistiono, B., & Makrup, L. (2017). Study of Hydraulic Jump Length Coefficient with the Leap Generation by Canal Gate Model. *American Journal of Civil Engineering*, 5(3), 148. <https://doi.org/10.11648/j.ajce.20170503.14>
- Suprihati, S. (2014). Peran Waduk Gajah Mungkur Terhadap Pertumbuhan Sektor Pertanian Di Kabupaten Sragen. *Jurnal Akuntansi Dan Pajak*, 14(02), 20–38. <https://doi.org/10.29040/jap.v14i02.78>
- Thetapaktuanpost.com. (n.d.). Puluhan Hektar Sawah di Aceh Selatan Retak-retak, Petani Terancam Gagal Tanam. *Thetapaktuanpost.Com*.
- Ulfiana, D. (2018). *Studi Efektivitas Pola Pemasangan Baffled Block pada Peredam Energi dalam Mereduksi Energi Aliran*. 2–3.
- Yadav, B. A., Sonaje, N. P., & Sathe, N. J. (2017). *Design of Hydraulic Jump Type Stilling Basin at Warana Canal Design of hydraulic jump type stilling basin at Warana canal*. 79(September), 30286–30288.
- Zulfan, J. (2017). Hydraulic Optimization for Mitigating Local Scour Downstream of Weir (Case Study: Rengrang Weir, West Java). *Jurnal Teknik Hidraulik*, 8(1), 15–28. <https://jurnalth.pusair-pu.go.id/index.php/JTH/article/view/217>