ISSN 0853-2982 eISSN 2549-2659

JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

Penentuan Faktor Koreksi Panjang Loncatan Hidrolik pada Kolam Peredam Energi Tipe Bucket

Nanang Saiful Rizal(*)

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Kab. Jember
Email: nanangsaifulrizal@unmuhjember.ac.id

Aditya Surya Manggala

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Kab. Jember
Email: adityasuryamanggala@unmuhjember.ac.id

Mokh Hairul Bahri

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Kab. Jember
Email: mhairulbahri@unmuhjember.ac.id

Nely Ana Mufarida

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Kab. Jember
Email: nelyana@unmuhjember.ac.id

Hardian Oktavianto

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Kab. Jember
Email: hardian@unmuhjember.ac.id

Habibatul Azizah Al Faruq

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Kab. Jember
Email: habibatulazizah@unmuhjember.ac.id

Dewi Lusiana

Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Kab. Jember
Email: dewilusiana@unmuhjember.ac.id

Agung Nilogiri

Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Kab. Jember
Email: agungnilogiri@unmuhjember.ac.id

Aji Brahma Nugroho

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Kab. Jember
Email: ajibrahma@unmuhjember.ac.id

Sofia Ariyani

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Kab. Jember
Email: sofia.ariyani2@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Pada kolam olak tipe bucket, jari-jari (R) mempengaruhi loncatan hidrolik. Faktor koreksi panjang loncatan yang dipengaruhi oleh jari-jari kolam bucket. Nilai tersebut dapat digunakan menentukan panjang atau luas area pengamanan hilir sungai agar tidak terjadi tergerusan. Uji model fisik dilakukan dengan flum, panjangnya 4,1 m, lebar flume 0,15 m dan tinggi flume 0,24 m. Maka 3 variasi jari-jari kolam olak yaitu R1 = 6 cm, R2 = 7 cm dan R3 = 8 cm kemudian dialirkan air dengan 27 variasi percobaan. Diukur tinggi muka air diatas mercu bendung (Hd), saat meloncat (y1), setelah meloncat (y2) dan panjang loncatan hidrolik (Lj), didapatkan tinggi air saat meloncat (y1) dan bilangan Froude (Fr). Dengan memodifikasi persamaan Silvester (σ = 3,0 dan η = 1,17). panjang loncatan hidrolik mendekati hasil observasi dengan tingkat kesalahan relatif ΔE = 25,8%, NSE = 0,9, MAE = 6,0 dan RMSE = 3,1.

Kata-kata Kunci: Kolam olak, tipe bucket, loncatan hidrolik, bilangan froude.

* *Penulis Korespondensi: nanangsaifulrizal@unmuhjember.ac.id*

Diterima 15 Juni 2022, Direvisi 4 April 2023, Diterima untuk dipublikasikan 12 April 2023
Copyright © 2023 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2023.30.1.8

Abstract

In a bucket type still pond, radius (R) affects the hydraulic jump. The jump length correction factor is affected by the bucket pool radius. This value can be used to determine the length or area of the river downstream safeguard area so that erosion does not occur. The physical model test was carried out with a flume, the length of which was 4.1 m, the flume width was 0.15 m and the flume height was 0.24 m. Then 3 variations of the radius of the stilling pond, namely R1 = 6 cm, R2 = 7 cm and R3 = 8 cm then water was flowed with 27 experimental variations. Measured the water level above the crest of the weir (Hd), when jumping (y1), after jumping (y2) and the length of the hydraulic jump (Lj), obtained the water height when jumping (y1) and the Froude number (Fr). By modifying Silvester's equation (σ = 3.0 and Ɪ] = 1.17). hydraulic jump length is close to the observed results with relative error rates ΔE = 25.8%, NSE = 0.9, MAE = 6.0 and RMSE = 3.1.

Keywords: Stilling pond, bucket type, hydraulic jump, froude number.

1. Pendahuluan

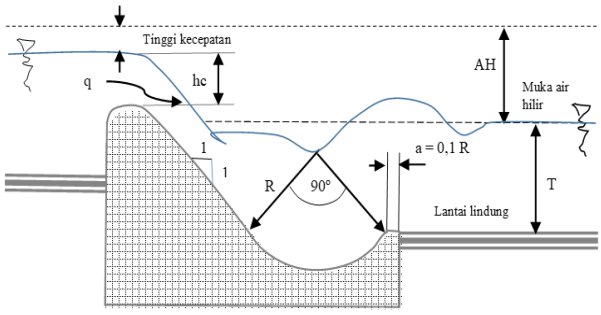
Kolam olak merupakan bagian dari bendung yang berfungsi sebagai peredam energi termasuk untuk menghindari banjir (Prastica dkk, 2017) dan gerusan lokal pada bagian hilirnya (Karami et al, 2019) dan (Eghbalzadeh at al, 2016). Jika bendung atau spillway yang direncanakan cukup tinggi dan lapisan batuannya cukup kuat agar efisien dapat dipilih kolam olak tipe bucket. Pemilihan kolam olak tipe bucket disamping menghilangkan atau meredam energi juga untuk menghindari gerusan pada sungai yang terletak pada hilir bendung (Eklund, 2017). Pada kolam olak tipe bucket, sudut bucket atau jari-jari (R) dan tinggi jatuh air dari mercu bendung sangat mempengaruhi peredaman energi (Jorabloo et al, 2011). Pada beberapa kasus di beberapa negara (Cina dan Prancis), kolam olak tipe bucket sangat efektif memecahkan masalah gerusan dasar sungai. Sebagai contoh pada pembangunan spillway di Pembangkit Listrik Tenaga Air Huangdeng, Cina [Mao et al, 2016] termasuk juga proyek hidrolik Dordogne yang telah dilakukan di Prancis (Maitre, at al, 1954).

Pada beberapa kali uji model fisik di laboratorium yang dilakukan para peneliti, menyimpulkan kolam olak tipe bucket juga dapat melindungi bukan hanya dasar sungai dari erosi tapi juga tebingnya [Wang et al, 2017]. Demikian pula uji model fisik di laboratorium yang dilakukan oleh maître dan obolenski (Maitre, at al, 1954). termasuk penelitian yang dilakukan Rohne dan Peterka telah menghasilkan rancangan flip bucket yang lebih baik (Rhone et al, 1959). Namun Pemanfaatan kolam olak tipe bucket perlu diuji lagi dengan melakukan pemodelan-pemodelan hidrolika yang menyesuaikan dengan kondisi teknis setempat [Sosrodarsono dkk, 1980] agar efektifitasnya dapat ditingkatkan lagi terutama dalam mengatasi masalah-masalah praktis di lapangan. Bilangan Froude merupakan salahsatu penentu dalam perencanaan kolam olak tipe bucket (Narayanan dkk, 1980) dan (Farhoudi et al, 2010). Penentuan jari-jari bucket (R) dinyatakan dalam bentuk grafik hubungan nilai Bilangan Froude (Fr) terhadap Jari-jari minimum (Rmin) dari sebuah kolam olak. Kemudian dari grafik hubungan F dan R dapat dihitung tinggi muka air bagian hilir, baik yang maksimum (Tmax) maupun yang minimum (Tmin). Adapun panjang loncatan hidrolik belum ditentukan persamaannya (Sosrodarsono dkk, 1980), maka untuk keperluan praktis perencanaan digunakan persamaan yang sudah ada tapi bukan kolam olak tipe bucket, seperti persamaan dari USBR, Silvester (1964), Woyeski (1931) dan Smetana (1933) dengan 3 variabel yang menentukan yaitu Bilangan Froude (Fr), tinggi air saat meloncat (y_1) dan tinggi air setelah meloncat (y_2).

Panjang loncatan (Lj) salahsatu penentu efektifitas peredaman energi pada kolam olak tipe bucket (Schiebe, 1971). Kajian terhadap kolam olak tipe bucket menjadi penting, karena saat ini sudah terbangun 130 bendung di Indonesia yang menggunakan kolam olak tipe bucket. Jika panjang loncatan hidrolik (Lj) tidak dapat dirumuskan dengan baik tentu akan menghambat dalam perencanaan maupun perbaikan hidrolik kolam olak tipe bucket yang mengalami kerusakan. Melalui sebuah uji model fisik akan diketahui tingkat kesalahan dari persamaan tersebut diatas, sehingga dapat dirancang faktor koreksi terhadap persamaan panjang loncatan hidrolik (Lj) yang dibuat. Selanjutnya dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan pengamanan bagian hilir bendung agar gerusan pada hilir bendung semakin kecil, walaupun pada kolam olak tipe bucket dengan jari-jari (R) yang besar, panjang loncatan hidrolik (Lj) tidak dapat diprediksikan dengan pasti, sebagaimana diperlihatkan pada **Gambar 1**.

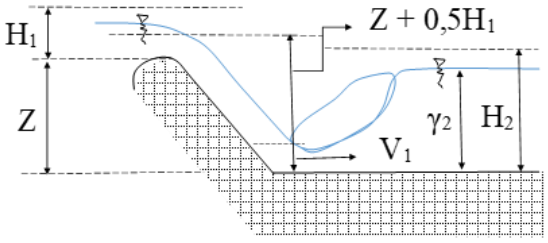
2. Metodologi

Aliran saluran terbuka dapat digolongkan berdasarkan pada berbagai kriteria, salah satu kriteria utama adalah perubahan kedalaman aliran (h) terhadap waktu (t) dan terhadap tempat (s).



Gambar 1. Prilaku hidrolik bucket dengan jari-jari (R) maksimum

Diterima 15 Juni 2022, Direvisi 4 April 2023, Diterima untuk dipublikasikan 12 April 2023
Copyright ⓒ 2023 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2023.30.1.8



Gambar 2. Kecepatan loncatan air (Sosrodarsono, et al., 2016)

Debit yang mengalir dalam sebuah saluran dinyatakan dalam :

$$Q = A\ x\ V \tag{1}$$

Nilai energi spesifik pada sebuah saluran dinyatakan dalam :

$$E = \frac{v^2}{2g} + y \tag{2}$$

Sedangkan kecepatan awal saat air akan meloncat dinyatakan dalam :

$$V_1 = \sqrt{2g(\frac{1}{2}H_1 + z)} \tag{3}$$

Sedangkan kondisi aliran saat air akan meloncat dinyatakan dalam bilangan Froude sebagai berikut :

$$Fr = \frac{\tilde{v}}{\sqrt{g.h}} \tag{4}$$

Panjang loncat air (Lj) dapat didefinisikan sebagai jarak yang diukur dari awal loncat air hingga suatu titik di bagian hilir gelombang loncat air. Panjang loncat air tidak mudah dihitung dengan teori mengingat beberapa kesalahan pengukuran dalam memperkirakan panjang loncat air, akibat kesulitan dalam menentukan batas ujung hilir loncatan dengan tingkat ketelitian yang besar. Oleh karena itu, beberapa ahli telah mencoba menentukannya berdasarkan pengamatan eksperimental. Beberapa hasil pengamatan eksperimental memberikan kurva hubungan antara nilai Froude (Fr) dengan rasio panjang loncat air (Lj) dan kedalaman air di hulu loncat air (y_1) atau kedalaman air di hilir loncat air (y_2). Beberapa teori yag dikemukakan para ahli sebagai berikut (Sosrodarsono dkk, 1980) :

1. Biro Reklamasi America Serikat (USBR) dan Rajaratman mengusulkan hubungan panjang loncat air pada saluran persegi empat dengan kelandaian dasar horizontal sebagai berikut:

   $$Lj = Cj\ (y_2 - y_1) \tag{5}$$

   Lj adalah panjang loncat air, Cj adalah konstanta yang bervariasi antara 5 – 7, y_2 kedalaman air di hulu loncat air dan y_2 kedalaman air di hilir loncat air.

2. Silvester (1964) merumuskan loncat air sebagai berikut :

   $$\frac{Lj}{Y_1} = \sigma\ (Fr - 1)^{\eta} \tag{6}$$

   Lj adalah panjang loncat air, h1 kedalaman di hulu loncatan air dan Fr = angka Froude pada loncatan. Untuk nilai σ dan nilai η adalah nilai konstanta yang dipengaruhi berdasarkan bentuk dari saluran, dengan ketentuan sebagai berikut: a) Saluran persegi empat mempunyai nilai σ sebesar 9,75 dan η sebesar 1,01. b) Saluran segitiga mempunyai nilai σ sebesar 4,26 dan η sebesar 0,69. c) Saluran trapesium nilia σ dan η dipengaruhi oleh kemiringan talud.

3. Menurut Woyeski (1931) panjang loncat air dapat dirumuskan sebagai berikut :

   $$Lj = \left[Cj - 0{,}05\left(\frac{y_2}{y_1}\right)\right](y_2 - y_1) \tag{7}$$

   Lj adalah panjang loncat air, y_1 kedalaman air di hulu loncat air, y_2 kedalaman air di hilir loncat air dan Cj adalah nilai konstanta (Cj = 8).

4. Menurut Smetana (1933), panjang loncat air dirumuskan sebagai berikut :

   $$Lj = Cj\ (y_2 - y_1)$$

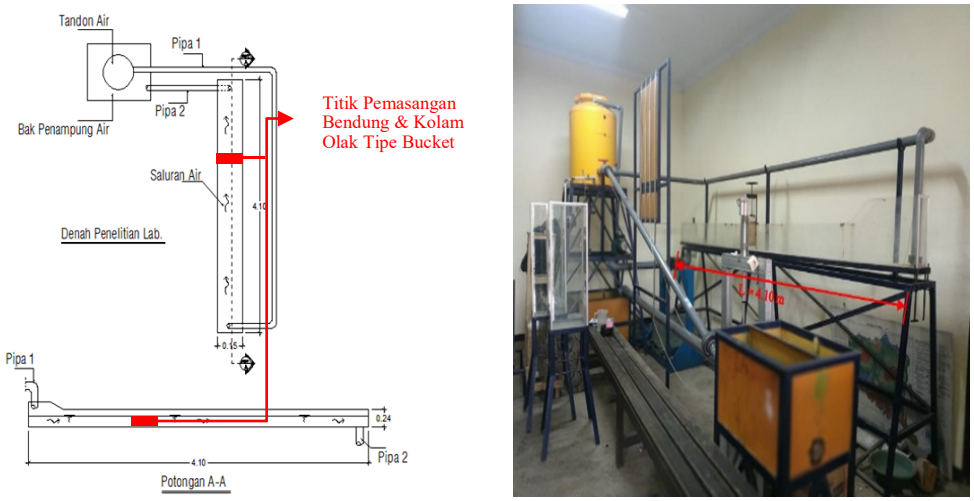
   Lj adalah panjang loncat air, y_1 adalah kedalaman air di hulu loncat air, y_2 adalah kedalaman air di hilir loncat air dan Cj adalah nilai konstanta (Cj = 6)

Pada prinsipnya pada kolam olak tipe bucket, jari-jari bucket (R) pasti sangat mempengaruhi panjang loncatan hidrolik (Lj). Untuk keperluan praktis perencanaan, panjang loncatan (Lj) pada kolam olak tipe bucket dihitung menggunakan persamaan pada kolam olak tipe USBR. Maka solusinya adalah rumus panjang loncatan menggunakan persamaan dari USBR perlu ditambah angka koreksi jika digunakan untuk kolam olak tipe bucket. Pada **Persamaan (5)** telah diuraikan nilai Cj antara 5-7 tapi belum diuraikan ketentuan penggunaan nilai Cj tersebut. Dalam persamaan yang dikembangkan oleh USBR, panjang loncatan hidrolik (Lj) dipengaruhi oleh tinggi air saat akan meloncat (y_1) dan tinggi muka air di hilir saat meloncat (y_2). Hal yang sama juga disampaikan oleh Woyeski (1931) dan Smetana (1933). Namun hal berbeda disampaikan oleh Woyeski (1931), yaitu dalam menentukan panjang loncatan (Lj) pada **Persamaan (7)** telah menentukan nilai Cj = 8, sedangkan Smetana (1933) pada **Persamaan (8)** telah menentukan nilai Cj = 6.

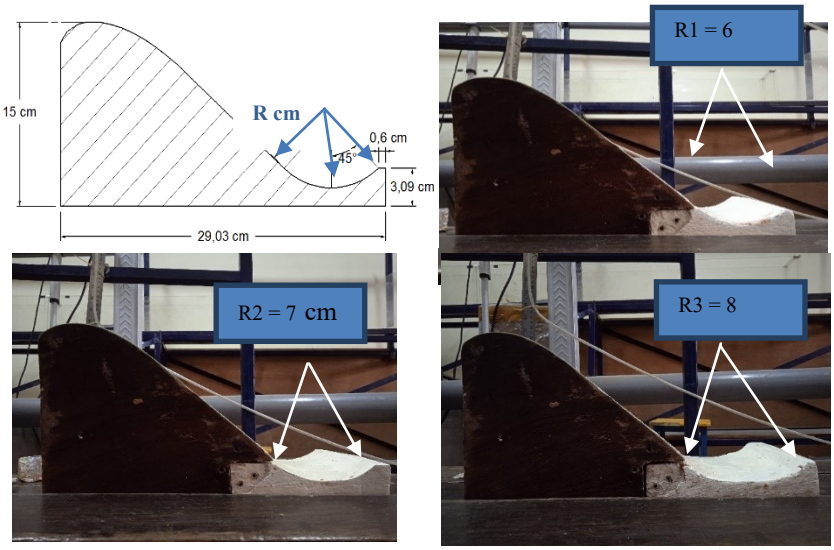
Berbeda dengan persamaan yang dikembangkan oleh Silvester (1964), panjang loncatan hidrolik (Lj) dipengaruhi oleh Bilangan Froude (Fr) dan kedalaman air di hulu loncat air (y_1). Maka jika rumus Silvester digunakan dalam menghitung panjang loncatan hidrolik (Lj), juga harus diberikan faktor angka koreksi juga. Adapun nilai koefisien σ dan η ditentukan berdasarkan bentuk saluran belum diuraikan secara detail bagaimana kalo **Persamaan (6)** akan digunakan untuk kolam olak tipe bucket.

Untuk menunjang hal ini perlu dilakukan sebuah model fisik yang menggambarkan hubungan tinggi muka air saat akan meloncat (y_1), saat setelah meloncat (y_2) terhadap panjang loncatan hidrolik yang terjadi (Lj).

Diterima 15 Juni 2022, Direvisi 4 April 2023, Diterima untuk dipublikasikan 12 April 2023
Copyright ⓒ 2023 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2023.30.1.8



Gambar 3. Denah model fisik dan potongan memanjang



Gambar 4. Prototipe bendung dan variasi R kolam olak tipe bucket

Maka penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan faktor koreksi panjang loncatan yang dipengaruhi oleh jari-jari kolam olak tipe bucket dengan melakukan uji model fisik di Laboratorium Hidrolika Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember pada sebuah flume dengan panjang *flume* 4,1 m, lebar *flume* 0,15 m dan tinggi flume 0,24 m kemudian flum dialiri dengan 27 kali variasi percobaan. Adapun denah model fisik yang dilakukan disajikan dalam **Gambar 3**. Bendung dibuat lengkap dengan kolam olak tipe bucket dengan 3 variasi jari-jari kolam olak yaitu $R_1 = 6$ cm, $R_2 = 7$ cm dan $R_3 = 8$ cm. Untuk mempermudah dalam pembuatan model fisik, maka bendung dibuat dengan bahan terpisah nanti dirangkai dengan kolam olakan dengan 3 variasi jari-jari bucket.

Selanjutnya dialirkan air pada masing-masing jari-jari bucket dengan 7 macam variasi debit. Kemudian diukur tinggi muka air diatas mercu bendung (Hd), tinggi muka air di hilir bendung (y_2) dan panjang loncatan hidrolik yang terjadi (Lj) menggunakan point gauge dan mistar ukur yang hasilnya disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan proses perhitungan dan analisis. Adapun prototipe bendung lengkap dengan kolam olak tipe bucket disajikan pada **Gambar 4**. Perhitungan yang dilakukan, meliputi perhitungan kecepatan air saat akan meloncat (v_1), tinggi air saat akan meloncat (y_1) dan nilai bilangan Froude saat air akan meloncat (Fr). Selanjutnya dibuat grafik untuk menunjukkan hubungan antara :

a) Pengaruh debit aliran (Q) terhadap panjang loncatan hidrolik (Lj)

b) Pengaruh tinggi saat akan meloncat (y_1) terhadap Panjang loncatan hidrolik (Lj)

c) Pengaruh bilangan Froude (Fr) terhadap Panjang loncatan hidrolik (Lj)

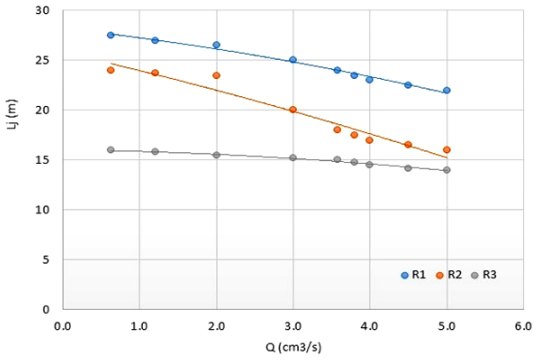
Selanjutnya pengaruh variabel Q, y_1 dan Fr terhadap loncatan hidrolik (Lj) dibandingkan dengan **Persamaan (5)**, **(6)**, **(7)** dan **(8)**. Persamaan yang paling bersesuaian selanjutnya dioptimasi untuk mendapatkan faktor koreksinya.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari data hasil uji model fisik selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan aliran saat akan meloncat (v_1), tinggi air saat akan meloncat (y_1) dan nilai bilangan

Diterima 15 Juni 2022, Direvisi 4 April 2023, Diterima untuk dipublikasikan 12 April 2023
Copyright © 2023 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2023.30.1.8

froude saat air akan meloncat (Fr). Selanjutnya dari hasil perhitungan dibuat analisa hubungan antara debit aliran (Q) dengan panjang loncatan hidrolik (Lj) yang disajikan pada grafik dalam **Gambar 5**. Berdasarkan **Gambar 5**, menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran yang terjadi maka loncatan hidroliknya semakin pendek, terutama pada kolam olak tipe bucket dengan jari-jari agak besar (R_3=8 cm) panjang loncatan hidroliknya hanya 14 cm. Adapun loncatan hidrolik terpanjang terjadi pada jari-jari paling kecil (R_1=6 cm) dengan panjang loncatan hidrolik sampai dengan 27,5 cm. Berarti saat terjadi debit aliran yang kecil dengan jari-jari yang kecil menimbulkan loncatan air yang paling panjang.



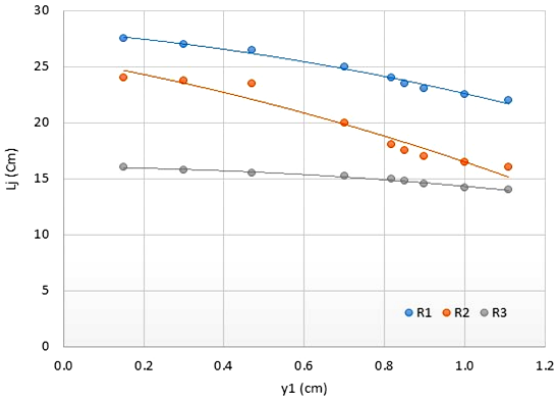
Gambar 5. Grafik hubungan Q dan Lj

Pada debit aliran yang sangat kecil ada kecenderungan panjang loncatan hidrolik pada R_1=6 cm hampir sama dengan R_2=7 cm, sebaliknya debit aliran yang agak besar ada kecenderungan panjang loncatan hidrolik pada R_2=7 cm hampir sama dengan R_3 = 8 cm. Secara umum pada R_1=6 cm dan R_3=8 cm, trend penurunan panjang loncatan hidrolik hampir sama membentuk garis miring agak datar, namun pada R_2 = 7 cm cenderung membentuk garus yang agak miring.Namun debit aliran juga dipengaruhi oleh kecepatan dan luas penampang saluran terutama pada saat air meloncat. Pada saat air akan meloncat kecepatan aliran semakin meningkat hal ini berakibat tinggi muka air saat meloncat akan mengalami penurunan. Pada saat meloncat dengan kecepatan yang tinggi air akan menyentuh kolam olak tipe bucket dengan bidang yang melengkung, maka saat jatuh terdorong ke atas setinggi air akan meloncat melewati endsill dari kolam olak. Jadi panjang loncatan hidrolik (Lj) ini diawali dari sentuhan terhadap bidang lengkung, tentu pada bidang lengkung dengan jari-jari bucket kecil pantulannya semakin tinggi dan panjang. Peristiwa ini tidak akan berlaku saat jari-jari bucket maksimum sebagaimana dijelaskan pada **Gambar 1** (saat terjadi aliran tenggelam pada bagian hilir bendung).

Maka agar lebih spesifik perlu ditinjau pula pengaruh tinggi saat akan meloncat (y_1) terhadap panjang loncatan hidrolik (Lj) pada berbagai variasi jari-jari dari bucket (R) yang hasilnya disajikan pada **Gambar 6**. Berdasarkan **Gambar 6**, terlihat bahwa panjang loncatan hidrolik (Lj) berbanding terbalik terhadap tinggi air diatas mercu bendung. Semakin tinggi nilai y_1 maka panjang loncatan (Lj) semakin rendah.

Pada R_1=6 cm penurunnya cenderung drastis membentuk garis lurus panjang loncatan (Lj) semakin rendah. Pada R_1=6 cm penurunnya cenderung drastis membentuk garis lurus sementara pada jari-jari R_1=7 cm juga turun drastis tapi cenderung membentuk garis lengkung. Namun pada jari-jari bucket R_3=8 cm, cenderung tinggi air tidak mempengaruhi panjang loncatan hidrolik (Lj). Artinya semakin besar jari-jari kolam maka loncatan hidroliknya cenderung tetap.

Pada saat y_1 sangat kecil ada kecenderungan panjang loncatan hidrolik pada R_1=6 cm hampir sama dengan R_2=7 cm, sebaliknya y_1 agak besar ada kecenderungan panjang loncatan hidrolik pada R_2=7 cm hampir sama dengan R_3 = 8 cm. Secara umum pada R_1=6 cm dan R_3=8 cm, trend penurunan panjang loncatan hidrolik hampir sama membentuk garis miring agak datar, namun pada R_2 = 7 cm cenderung membentuk garus yang agak miring. Pada persamaan sebelumnya diuraikan ada pengaruh tinggi air di bagian hilir (y_2),



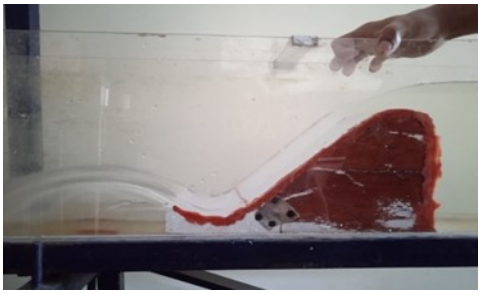
Gambar 6. Grafik hubungan y_1 dan Lj

namun setelah melakukan uji model fisik pada kolam olak tipe bucket terlihat bahwa tidak ada pengaruh aliran dari hilir karena posisi endsil sangat tinggi sebagaimana disajikan dalam **Gambar 7**. Pada debit yang agak tinggi hal yang sama juga terjadi juga, aliran di hilir tidak mengalami backwater ke arah hulu. Namun jika jari-jari bucket (R) cukup besar ada kemungkinan terjadi aliran tenggelam sehingga tinggi air di \\hilir pasti mempengaruhi bagian hulu sebagaimana disajikan pada **Gambar 1**. Sehingga perlu didefinisikan batas maksimal atau range nilai R dalam membuat sebuah kolam olak dengan tipe bucket (R).

Berdasarkan pada teori–teori yang ada ternyata panjang loncatan (Lj) bukan hanya dipengaruhi oleh tinggi air saat meloncat dan setelah meloncat namun dipengaruhi oleh karakteristik aliran saat meloncat yang disajikan dalam bentuk bilangan Froude. Adapun hubungan antara bilangan Froude saat meloncat (Fr1) dengan panjang loncatan hidrolik (Lj) disajikan pada **Gambar 8**. menurun.

Bilangan Froude (Fr) mempengaruhi terhadap panjang loncatan hidrolik baik pada jari-hari R_1 = 6 cm, R_2 = 7 cm maupun R_3 = 8 cm. Namun pada R_3 = 8 cm naiknya

Diterima 15 Juni 2022, Direvisi 4 April 2023, Diterima untuk dipublikasikan 12 April 2023
Copyright ⓒ 2023 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2023.30.1.8

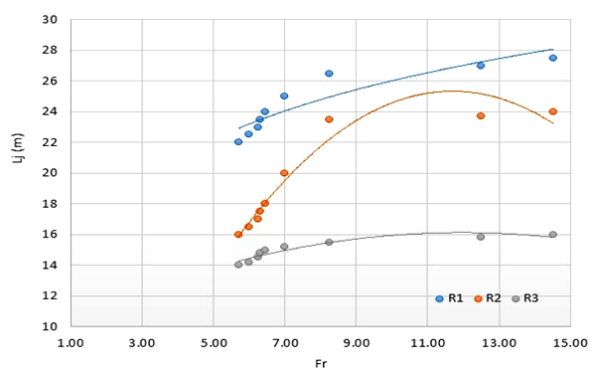


(a). Profil aliran saat $R_1 = 6$ cm

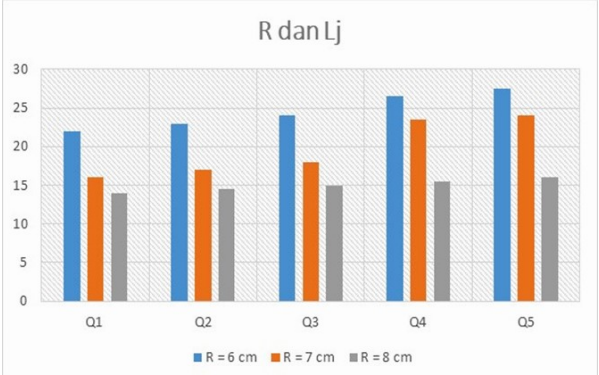
(b). Profil aliran saat $R_2 = 7$ cm

(c). Profil aliran saat $R_3 = 8$ cm

Gambar 7. Profil aliran pada kolam olak tipe bucket pada berbagai variasi R



Gambar 8. Grafik hubungan Fr dan Lj



Gambar 9. Grafik hubungan R dan Lj

cenderung datar sementara pada $R_2 = 7$ cm naik siginifikan membentuk sebuah parabolik, Namun pada $R_3 = 8$ cm naiknya cenderung datar sementara pada $R_2 = 7$ cm naik siginifikan membentuk sebuah parabolik, hal ini juga terjadi pada $R_1 = 6$ cm namun kenaikan tidak signifikan seperti pada $R_2 = 7$ cm. Pada saat bilangan froude mencapai nilai Fr = 12 cenderung loncatannya stabil dan menurun. Hal ini menunjukkan bahwa ada batas maksimum dari nilai bilangan Froude (Fr). Secara umum semakin tinggi nilai Fr maka cenderung panjang loncatan semakin tinggi. Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan (Salar Khania et al, 2017) efek perendaman meningkat ketika kedalaman muka air meningkat dan bilangan froude menurun.

Berdasarkan **Gambar 8**, sekaligus menjelaskan bahwa pada saat jari-jari bucket (R) optimal maka bilangan Froude (Fr) tidak terus naik namun mengalami titik balik atau penurunan. Penurunan nilai Fr berarti kekritisan aliran menurun sehingga efek gerusan semakin kecil yang berarti peredaman energi yang dilakukan semakin optimal.

Faktor jari-jari bucket perlu diperhatikan juga, yaitu nilainya tidak boleh terlalu tinggi karena tidak memberikan efek terhadap panjang loncatan hidrolik yang terjadi, sebagaimana dilustrasikan dalam **Gambar 9**. Untuk keperluan aplikasi lapangan disarankan pemakaian nilai jari-jari bucket lebih rendah dari beda tinggi air di bagian hulu dan hilir bendung dengan kolam olakan tipe bucket sehingga persamaan panjang loncatan hidrolik (Lj) pada kolam olak tipe bucket dapat digunakan.

Hasil uji model fisik yang telah dilakukan lebih bersesuaian dengan **Persamaan (9)** bahwa panjang loncatan hidrolik tidak hanya dipengaruhi oleh nilai y_1, namun juga nilai Fr, persamaan tersebut adalah :

$$\frac{Lj}{Y_1} = \sigma\,(Fr-1)^{\eta} \qquad (9)$$

Dalam persamaan ini tidak ada penjelasan bagaimana jika persamaan tersebut diterapkan pada kolam olak tipe bucket. Dalam penjelasannya hanya diterangkan ada nilai σ dan nilai η merupakan konstanta yang dipengaruhi oleh bentuk saluran.

Diterima 15 Juni 2022, Direvisi 4 April 2023, Diterima untuk dipublikasikan 12 April 2023
Copyright ⓒ 2023 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2023.30.1.8

Tabel 1. Perbandingan Lj observasi, silvester & modifikasi

No	Obs	y_1 (m)	Fr	Silvester			Silvester Modifikasi				
				σ = 9.75		η = 1.01	σ = 3		η = 1.01		
	Lj (m)			Lj (m)	ΔE (%)	Parameter	Lj (m)	ΔE (%)	Parameter		
1	22.0	1.1	5.7	47.6	116.4				20.3	7.6	
2	22.5	1.0	6.0	45.7	103.2				19.7	12.4	
3	23.0	0.9	6.2	43.1	87.4				18.7	18.6	
4	23.5	0.9	6.3	41.2	75.4				17.9	23.6	
5	24.0	0.8	6.5	40.8	69.8				17.8	25.7	
6	25.0	0.7	7.0	38.5	53.9				17.1	31.7	
7	26.5	0.5	8.2	31.3	18.1				14.3	46.0	
8	27.0	0.3	12.5	31.8	17.8				15.7	41.9	
9	27.5	0.1	14.5	18.7	32.2				9.4	65.7	
10	16.0	1.1	5.7	47.6	197.6				20.3	27.0	
11	16.5	1.0	6.0	45.7	177.2				19.7	19.5	
12	17.0	0.9	6.2	43.1	153.6	*ΔE (%)*		*108.5*	18.7	10.2	*ΔE (%)*	*25.8*
13	17.5	0.9	6.3	41.2	135.6	*NSE*		*-18.8*	17.9	2.5	*NSE*	*0.9*
14	18.0	0.8	6.5	40.8	126.5	*MAE*		*19.0*	17.8	1.0	*MAE*	*6.0*
15	20.0	0.7	7.0	38.5	92.4	*RMSE*		*19.8*	17.1	14.6	*RMSE*	*3.1*
16	23.5	0.5	8.2	31.3	33.2				14.3	39.1	
17	23.7	0.3	12.5	31.8	34.3				15.7	33.9	
18	24.0	0.1	14.5	18.7	22.3				9.4	60.7	
19	14.0	1.1	5.7	47.6	240.1				20.3	45.2	
20	14.2	1.0	6.0	45.7	222.0				19.7	38.9	
21	14.5	0.9	6.2	43.1	197.3				18.7	29.2	
22	14.8	0.9	6.3	41.2	178.6				17.9	21.2	
23	15.0	0.8	6.5	40.8	171.7				17.8	18.8	
24	15.2	0.7	7.0	38.5	153.2				17.1	12.4	
25	15.5	0.5	8.2	31.3	101.9				14.3	7.6	
26	15.8	0.3	12.5	31.8	101.4				15.7	0.8	
27	16.0	0.1	14.5	18.7	16.6				9.4	41.0	

Dalam uji model fisik ini menggunakan saluran persegi empat maka jika diterapkan **Persamaan (9)** nilai σ sebesar 9,75 dan η sebesar 1,01. Maka hasil ini jika dibandingkan dengan hasil uji model fisik masih memiliki kesalahan relatif, NSE, MAE dan RMSE yang masih besar. Selanjutnya dilakukan optimasi terhadap nilai σ dan nilai η pada rumus Silvester agar mendapatkan kesalahan relatif, NSE, MAE, RMSE yang lebih kecil yang hasil akhirnya disajikan pada **Tabel 1**. Dari hasil optimasi nilai σ sebesar 3,0 dan η sebesar 1,17, kesalahan relatif sudah menurun dari 110% menjadi 25,8%. Adapun nilai NSE = 0,9, Nilai MAE = 6 dan RMSE = 3,1.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan perhitungan dan hasil analisa diatas, bahwa persamaan panjang loncatan hidrolik (Lj) pada kolam olak tipe bucket yang telah bandingkan dengan hasil uji model fisik di laboratorium ternyata dipengaruhi oleh tinggi air saat meloncat (y_1) dan bilangan froude (Fr).
2. Selanjutnya untuk keperluan praktis perencanaan panjang lonjatan hidrolik yang menggunakan persamaan Silvester dapat digunakan dengan memodifikasi nilai σ menjadi 3,0 dan nilai η menjadi 1,17 sehingga persamaan Silvester Modifikasi menjadi :

$$\frac{Lj}{Y_1} = 3{,}0\ (Fr-1)^{1{,}17} \qquad (10)$$

3. Persamaan diatas dapat digunakan dengan efektif jika jari-jari bucket (R) tidak terlalu besar. Nilai R yang direkomendasikan berkisar antara 0,5—0,8 dari beda tinggi air di hulu dan hilir bendung yang menggunakan kolam olak tipe bucket (R).

4.2 Saran

Untuk mendapatkan akurasi yang lebih baik, uji model fisik dapat dilakukan dalam skala yang lebih besar dengan pengambilan variasi debit yang lebih banyak sehingga mendapatkan data yang panjang untuk membantu analisa dan validasi secara lebih baik. Disamping kajian hidrolik lebih detail di bagian hilir juga perlu kajian untuk mengetahui kondisi panjang dan kedalaman gerusan yang akan terjadi.

Daftar Pustaka

Anonim. (1986). *Standart Perencanaan irigasi KP – 03.* Jakarta : Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

Chow, V.T. (1992). *Hidrolika Saluran Terbuka.* Jakarta : Erlangga.

D. Mao, F. Zhang, X. Zhong, and M. Lv. (2016). *Application test of swallow-tailed flip bucket ski-jump energy dissipation for Huangdeng hydropower station*, Water Resources Power, vol. 34, no. 3, pp. 104–107.

Eghbalzadeh, A., Javan, M., Hayati, M., Amini, A. (2016). *Discharge prediction of circular and rectangular side orifices using artificial neiral networks*. KSCE.J.Civ. Eng, 20, 990-996.

Diterima 15 Juni 2022, Direvisi 4 April 2023, Diterima untuk dipublikasikan 12 April 2023

Copyright ⓒ 2023 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2023.30.1.8

Eklund, S. (2017). *CFD modeling of ski-jump spillway in Stornnforsen*, Master's Thesis, Sweden : Royal Institute of Technology.

Farhoudi, J., Sadat-Helbar, S.M., and Aziz, N.I. (2010). *Pressure fluctuation around chute blocks of SAF stilling basins*, 203.

French,W.L.,dkk. (1985). *Understandig Human Behavior in Organizations.* New York: Harper & Row Publishers.

J. Wang, J. Deng, L. Lv., Z. Yang. (2017). *Hydraulic characteristics of swallow-tailed array flip buckets*. Journal of Hydraulic Engineering, vol. 36, pp. 31–37.

Jorabloo, M., Maghsoodi, R., Sarkardeh, H. (2011). *3D simulation of flow over flip buckets at dams. J*. Am. Sci, 7, 931-936.

Karami Moghadam, M., Amini, A., Keshavarzi, A. (2019). *Intake design attributes and submerged vanes affects omsedimentation and shear stress*. Water Environ. J, 1-7.

Narayanan, R. (1980). *Cavitation induced by turbulence in stilling basin*. J. Hydraul. Div. ASCE, *106*(4), 616–619.

O. A. Yamini, M. R. Kavianpour, (2011). *Experimental study of static and dynamic pressures over simple flip bucket. 5th symposium on advances in science and technology Khavaran Highereducation Istitute, Mashhad, Iran,* 12-14.

O.A. Yamini, M.R. Kavianpour, S.H. Mousavi, A. Movahedi, M. Bavandpour. (2017). *Experimental investigation of pressure fluctuation on the bed of compound flip buckets. ISH Journal of Hydraulic Engineering*, (1), 1–8.

Peterka, A.J. (1974). *Hidrolics Design Of Stilling Basin And Energy Dissipaters.* Colorado : United States Departement Of Interior, Bureau Of Reclamation.

Prastica, R.M.S., Maitiri, C., Nugroho, P. C., Hermawan, A. (2017). *Analisis Banjir dan Perencanaan Desain Transportasi Sungai di Kota Bojonegoro. Media Komunikasi Teknik Sipil*, Vol *23* (2), 91-102.

R. Maitre, S. Obolensky, Etude de Quelques. (1954). *Caractéristiques de l'Ecoulement dans la Partie Aval des Evacuateurs de Surface*, La Houille Blanche *4*, 481–511.

Salar Khania, Mehdi Azhdary Moghadamb & Mohammad Nikookar. (2017). *Pressure Fluctuations Investigation on the Curve of Flip Buckets Using Analytical and Numerical Methods*. Computational Research Progress in Applied Science & Engineering. CRPASE Vol. *03*(04), 165-171.

Schiebe. (1971). *The stochastic characteristics of pressure fluctuations on a channel bed due to the turbulence in a hydraulic jump*, Master's Thesis, Minneapolis : Univ of Minnesota.

Sosrodarsono, S. Takeda, K. (1980). *Bendungan Type Urugan*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

Steiner, R., Heller, V., Hager, W.H., Minor, H.E. (2008). *Deflector ski jump hydraulics*, J. Hydraul. Eng, 134, 562-571.

T.J. Rhone, A. J. Peterka. (1959). *Improved tunnel spillway flip buckets. Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE *126*, 1270–1291.

Triatmodjo, B. (1993). *Hidraulika I*. Yogyakarta : Beta Ofset.

Triatmodjo, B. (1993). *Hidraulika II*. Yogyakarta : Beta Ofset.

Diterima 15 Juni 2022, Direvisi 4 April 2023, Diterima untuk dipublikasikan 12 April 2023
Copyright ⓒ 2023 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2023.30.1.8