



MODIFIKASI KOLAM OLAK TIPE AMBANG BERGIGI DALAM RANGKA REHABILITASI KERUSAKAN BENDUNG CIKEUSIK DI JAWA BARAT

DENTATED ENDSILL STILLING BASIN MODIFICATION FOR CIKEUSIK WEIR REHABILITATION IN WEST JAVA

James Zulfan^{1*)}, Tsani Rakhmawati²⁾, Ririn Rimawan³⁾,
I Putu Samskerta⁴⁾, Slamet Lestari⁵⁾

^{1,2,3,4)}Balai Hidrolika dan Geoteknik Keairan, Kementerian PUPR
Jl. Ir. H. Juanda No 193 Dago, Bandung, Indonesia,

⁵⁾Direktorat Bendungan dan Danau, Kementerian PUPR
Jl. Pattimura No. 20 Kebayoran Baru, Jakarta, Indonesia,

*Correspondent E-Mail:james.zulfan@pu.go.id

Diterima: 22 April 2022; Direvisi: 28 April 2022; Disetujui: 24 Juni 2022

ABSTRACT

The presence of hydraulic jumps downstream of the weir structure is a natural occurrence that indicates a change in supercritical to subcritical flow characteristics. Hydraulic jump is one indicator of energy dissipation in the stilling basin. Therefore, the absence of a hydraulic jump can be a problem for some weirs, as happened in the Cikeusik Weir, which experienced damage to the stilling pool floor so that the energy dissipation did not function optimally. This paper will discuss the potential causes of damage to the Cikeusik weir and alternative designs for its countermeasures. The research aims to find an optimum design for stilling basin for the Cikeusik Weir rehabilitation program. A physical model test was carried out in the laboratory with a scale of 1: 40 to obtain an appropriate alternative to the stilling pond design for the Cikeusik weir. The tests were conducted with variations in the discharge Q_{100} years, respectively. Three model tests were conducted, namely the existing and two modified designs, by extending the stilling basin floor up to 42 meters, 6.5 meters deep, and adding a riprap by 8 meters. Based on the model testing results, extending stilling basin floor length with a dentated endsill and adding downstream riprap is the most optimal alternative because it has an energy reduction effectiveness of up to 80% and the lowest downstream scour potential compared to other options. This test's results are expected to be used as an alternative to mitigate the damage to the Cikeusik weir and other locations with similar problems.

Keywords: Cikeusik Weir, stilling basin, Froude number, local scour, physical model

ABSTRAK

Kehadiran loncatan hidraulik di hilir struktur bendung merupakan kejadian alami yang menunjukkan perubahan karakteristik aliran superkritis ke subkritis sebagai parameter terjadinya peredaman energi di kolam olak bendung. Oleh karena itu, ketiadaan loncatan hidraulik di area kolam olak dapat menjadi permasalahan tersendiri bagi struktur bendung seperti yang terjadi pada Bendung Cikeusik di Kabupaten Kuningan yang mengalami kerusakan lantai kolam olak sehingga peredaman energi tidak berfungsi dengan optimal. Di dalam makalah ini akan dibahas potensi penyebab kerusakan Bendung Cikeusik serta alternatif desain penanggulangannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan desain kolam olak yang optimum sebagai rekomendasi desain rehabilitasi Bendung Cikeusik. Dalam rangka mendapatkan alternatif desain kolam olak yang tepat untuk Bendung Cikeusik, dilakukan pemodelan fisik di laboratorium dengan skala 1: 40. Pengujian dilakukan dengan variasi debit Q_{100} tahun pada 3 seri pengujian model yaitu desain eksisting dan 2 desain modifikasi dengan perpanjangan kolam olak dan penambahan riprap. Berdasarkan hasil pengujian model, penambahan panjang lantai datar kolam olak sepanjang 42 meter, penambahan kedalaman 6,5 meter, dan riprap sepanjang 8 meter merupakan alternatif paling optimal karena memiliki efektivitas peredaman energi sebesar 80% dan potensi gerusan hilir yang paling rendah dibandingkan alternatif lain. Hasil pengujian ini, diharapkan tidak hanya dapat dijadikan alternatif penanganan kerusakan kolam olak di Bendung Cikeusik namun juga lokasi lain yang memiliki permasalahan serupa.

Kata Kunci: Bendung Cikeusik, kolam olak, bilangan froude, gerusan lokal, model fisik

PENDAHULUAN

Bendung merupakan salah satu infrastruktur vital yang kehadirannya sangat bermanfaat untuk keberlangsungan kehidupan masyarakat. Dalam beberapa dekade terakhir sudah banyak bendung-bendung baru yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan air baku maupun untuk kebutuhan irigasi. Selain itu, masih banyak pula bangunan bendung eksisting yang sudah beroperasi sejak lama dan sudah berumur puluhan tahun, salah satunya adalah Bendung Cikeusik yang masuk wilayah Kecamatan Cidahu, Kabupaten Kuningan, Provinsi Jawa Barat (Gambar 1). Bendung ini

dibangun pada tahun 1890 dengan debit desain periode ulang 100 tahun sekitar $1471,11 \text{ m}^3/\text{s}$. Fungsi utama dari Bendung Cikeusik adalah sebagai infrastruktur pengaliran air irigasi ke DI Cikeusik seluas ± 6.924 hektar. Secara teknis, Bendung Cikeusik dibangun dengan mercu tipe Ogee dengan tinggi ambang 2,6 meter serta lebar 95 meter. Untuk operasional pengaliran, pada bendung ini memiliki pintu pengambilan dan pintu pembilasan dengan lebar serta di bagian hilirnya terdapat bendung ini memiliki kolam olak sepanjang 20 meter yang dilengkapi *chute blocks* (Gambar 2).



Gambar 1 Lokasi Bendung Cikeusik
(sumber : BBWS Cimanuk Cisanggarung, 2020)



Gambar 2 Bendung Cikeusik
(sumber : BBWS Cimanuk Cisanggarung, 2020)

Seiring bertambahnya usia dan beban sungai yang semakin meningkat, kinerja bangunan bendung dapat terganggu. Tidak hanya bangunan utama bendungnya saja namun juga saluran irigasinya. Dari sisi struktur tubuh bendung, sedikit demi sedikit bagian bendung mengalami kerusakan dengan kronologis sebagai berikut (Pusat Litbang Sumber Daya Air, 2020):

- a) Tahun 2012 mengalami kerusakan lantai kolam olak sisi kanan ujung atas dan bawah,
- b) Tahun 2013 mengalami kerusakan pondasi sayap bendung,
- c) Tahun 2015 mengalami kerusakan lantai muka bendung,
- d) Tahun 2017 mengalami kerusakan dinding sayap kiri bendung,
- e) Tahun 2018 mengalami kerusakan lantai kolam olak bagian tengah seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Inayatullah & Winasis (2018), Bendung Cikeusik dan saluran irigasinya telah mengalami kerusakan struktural meliputi 33,89 % kerusakan pada bangunan utama dan 0,87% untuk kerusakan pada saluran irigasi. Hal ini berdampak pada menurunnya fungsi jaringan irigasi sehingga pelayanan air pada Daerah Irigasi Cikeusik menjadi kurang optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan desain kolam olak yang optimum sebagai rekomendasi desain untuk rehabilitasi kerusakan Bendung Cikeusik. Oleh karena itu, makalah ini ditujukan untuk menganalisis dan membahas penyebab kerusakan pada bangunan utama bendung beserta alternatif penanganan kerusakan berdasarkan pengujian dan eksperimen model fisik yang dilaksanakan di laboratorium hidrolika.



Gambar 3 Tampak atas Bendung Cikeusik
(sumber : BBWS Cimanuk Cisanggarung, 2020)



Gambar 4 Tampak samping Bendung Cikeusik
(sumber : BBWS Cimanuk Cisanggarung, 2020)

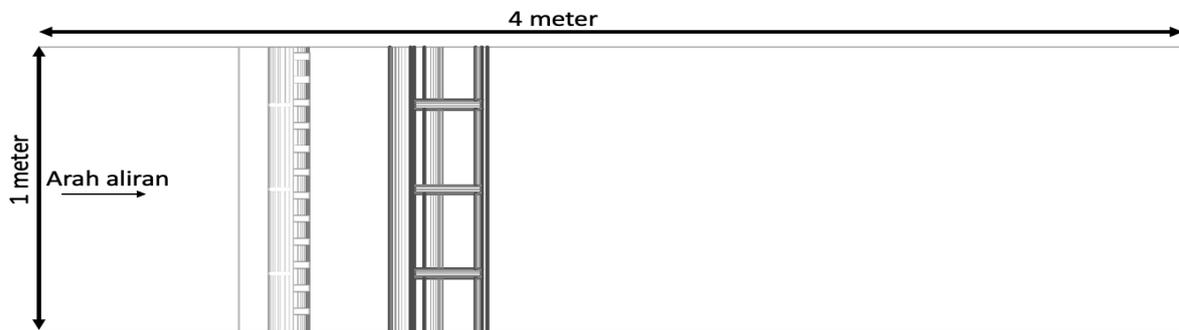
METODOLOGI

Untuk menganalisa penyebab kerusakan serta alternatif penanganan kerusakan Bendung Cikeusik, maka dilakukan pemodelan fisik bendung di Laboratorium Hidrolika Balai Hidrolika dan Geoteknik Keairan, Kementerian PUPR di Bandung. Data yang digunakan meliputi gambar desain bendung eksisting dan data debit pengaliran $Q_{100\text{tahun}}$ yang didapatkan dari BBWS Cimanuk Cisanggarung. Model fisik Bendung Cipamingkis dibuat dengan skala 1:40 pada saluran kaca berdimensi 14,8 m x 1 m x 1 m seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Variasi debit pengaliran yang digunakan yaitu debit periode 100 tahun yang didapatkan dari Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk Cisanggarung. Fokus pengujian dalam penelitian ini adalah peredaman energi dan pola gerusan di hilir kolam olak. Skenario pengujian meliputi 3 skenario :

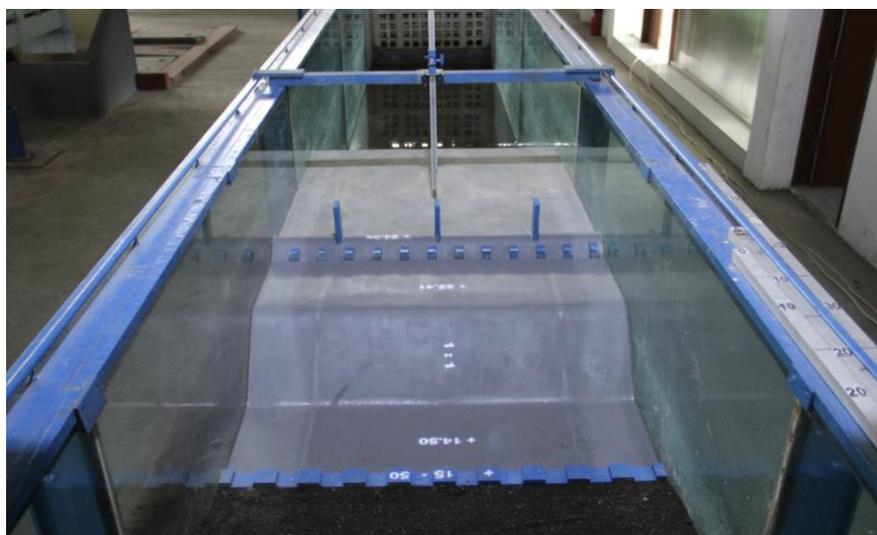
1. Desain eksisting (Gambar 7),
Desain ini merupakan desain awal dari perencana. Pada desain awal ini panjang kolam olak adalah 20 meter tanpa riprap.
2. Desain alternatif 1 (Gambar 8),
Desain ini merupakan desain modifikasi dengan panjang kolam olak 35 meter dan riprap batu sepanjang 8 meter di hilir kolam olak.
3. Desain alternatif 2 (Gambar 9),
Desain ini merupakan desain modifikasi dengan panjang kolam olak 42 meter dan riprap batu sepanjang 8 meter di hilir kolam olak.

Tabel 1 Skala besaran

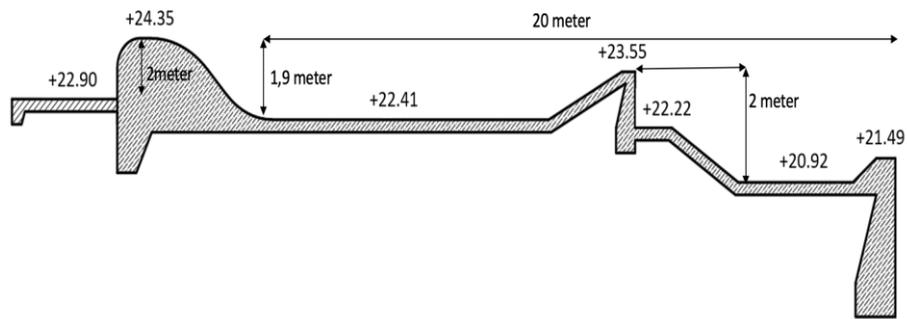
Besaran	Skala
- Panjang, tinggi	$nL = nh = 40$
- Kecepatan aliran	$nv = nh^{1/2} = 6,33$
- D e b i t	$nQ = nh^{5/2} = 10119,28$



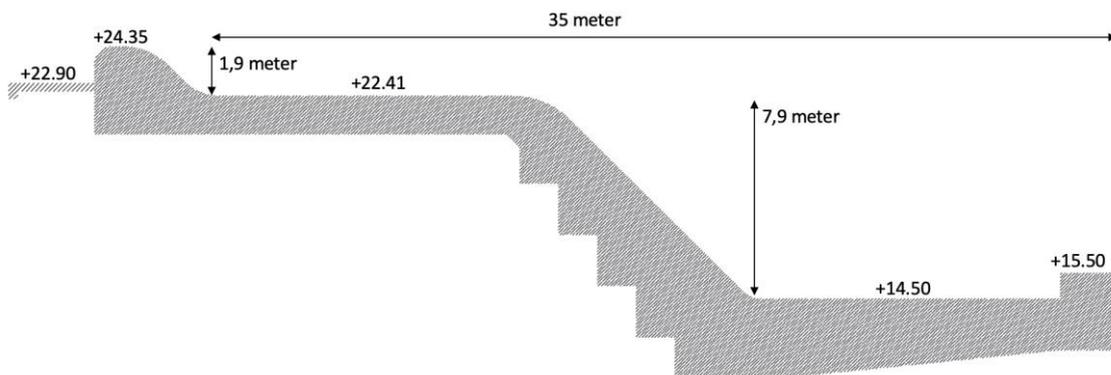
Gambar 5 Layout model fisik Bendung Cikeusik dengan skala 1:40 di laboratorium



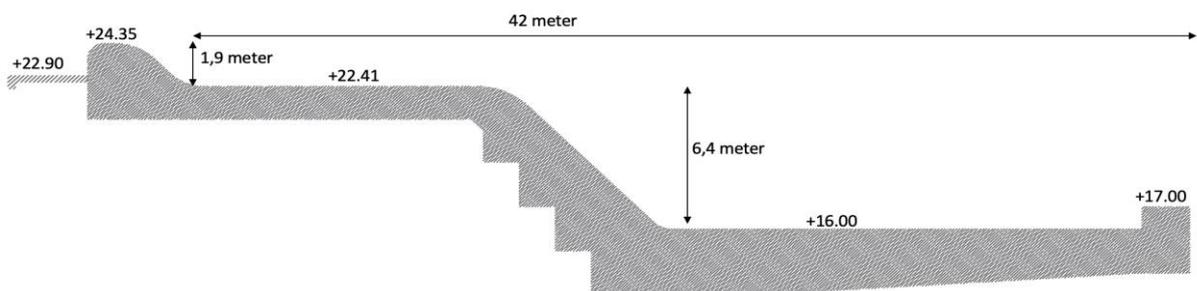
Gambar 6 Tampak depan model fisik Bendung Cikeusik di saluran kaca (*flume*)



Gambar 7 Potongan memanjang desain Bendung Cikeusik desain eksisting



Gambar 8 Potongan memanjang desain Bendung Cikeusik alternatif 1



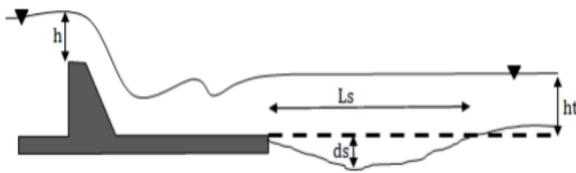
Gambar 9 Potongan memanjang desain Bendung Cikeusik alternatif 2

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyebab umum kerusakan

Salah satu tantangan yang seringkali terjadi pada bendung yang dapat mengakibatkan gangguan fungsi operasional bendung adalah tidak berfungsinya peredaman energi di hilir bendung. Dengan kondisi aliran yang kurang sempurna, aliran yang tidak merata, serta kondisi aliran tenggelam maka hal ini dapat menyebabkan kurang efektifnya desain kolam olak yang ada. Dalam studi kasus Bendung Cikeusik, kerusakan bangunan terlihat dengan mulai terkikisnya lantai kolam olak yang menyebabkan setengah lantai kolam olak

patah. Hal ini dapat disebabkan peredaman aliran yang tidak berfungsi dengan baik. Kajian yang dilakukan oleh Zulfan (2017) dan Kumala dkk (2018) menunjukkan bahwa terdapat korelasi parameter kedalaman gerusan hilir terdalam (d_s), panjang area gerusan (L_s), dan kerusakan pada kolam olak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Parameter utama dalam pengaliran di kolam olak adalah loncatan hidraulik sehingga jika proses peredaman energi aliran tidak dapat diredam dengan baik maka akan terjadi potensi penggerusan dan turbulensi yang dapat menyebabkan gerusan lokal di area hilir bendung.



Keterangan:

h : elevasi muka air hulu (m), ds : tinggi gerusan (m),
 ht : elevasi muka air hilir (m), Ls : panjang gerusan (m)

Gambar 10 Ilustrasi *scouring* di hilir bendung (sumber: Zulfan, 2017)

Uji Model Fisik

1. Desain Eksisting

Untuk menganalisa lebih dalam kondisi aliran pada desain eksisting Bendung Cikeusik, maka dilakukan pengujian desain bendung eksisting dengan debit desain 100 tahun. Desain bendung eksisting seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Pada model

desain eksisting ini dilakukan penyelidikan profil aliran dengan menggunakan debit $Q_{100 \text{ tahun}} = 16,20 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. Untuk debit pengujian tersebut, kondisi aliran tidak merata dan peredaman energi yang terjadi kurang optimal sehingga terlihat loncatan hidraulik terjadi diluar lantai kolam olak. Dengan terjadinya turbulensi dan loncatan hidraulik di luar lantai kolam olak maka potensi terjadinya gerusan lokal di hilir bendung akan meningkat dan membahayakan struktur yang ada. Hal ini sesuai dengan kondisi saat banjir tahun 2020 seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Pada kondisi bendung eksisting dan tidak ada perkuatan hilir yang dipasang membuat dasar sungai sangat rentan tergerus dengan kecepatan aliran yang terjadi. Pengujian ini membuktikan kerusakan pada lantai peredam energi bendung disebabkan karena peredam energi tidak berfungsi dengan baik dan diperlukan modifikasi dimensi kolam olak.



Gambar 11 Kondisi pengaliran pada model Bendung Cikeusik Eksisting $Q_{100 \text{ tahun}}$ di laboratorium



Gambar 12 Pola aliran pada Bendung Cikeusik pada saat banjir tahun 2020 (sumber : BBWS Cimanuk Cisanggarung, 2020)

Berdasarkan hasil pengujian gerusan di laboratorium, potensi kedalaman gerusan maksimum di hilir bendung yaitu 14 m seperti terlihat pada Gambar 11 dan Gambar 12. Kondisi gerusan yang dalam ini merupakan hasil dari peredaman energi yang tidak terkendali sehingga terjadi pergerakan angkutan sedimen yang signifikan dan menggerus material sedimen dasar sungai. Gerusan yang terjadi di hilir bangunan bendung terpengaruh oleh karakteristik aliran yang mengalir di atasnya. Disinilah struktur kolam olak dan endsill bendung berperan untuk mengurangi dampak gerusan dengan meredam energi aliran dari hulu ke hilir bendung. Jika kolam olak dan endsill tidak di desain dengan matang, maka peredaman energi tidak optimal dan akan terjadi gerusan di hilir bendung. Upaya penanganan harus segera dilakukan supaya kerusakan tersebut tidak dapat menjalar ke bagian bendung yang lain. Oleh karena itu, disarankan dilakukan kajian dan mitigasi kerusakan bendung sehingga dapat menjadi acuan dalam penanganan kerusakan bendung di lokasi lain. Kajian mengenai kerusakan hilir bendung khususnya pada kolam olak dan endsill bendung sudah banyak di kaji oleh para praktisi dan peneliti nasional dan internasional. Salah satunya adalah Raudviki dan Ettema (1983),

yang mengklasifikasikan gerusan menjadi gerusan umum, gerusan terlokalisir, dan gerusan lokal. Dalam kajiannya juga dijelaskan bahwa pada evaluasi gerusan lokal pada bangunan air harus mempertimbangkan juga gerusan umum dan terlokalisir. Hasil penelitian sebelumnya seperti Legono (1990), Heller (2011), Zulfan & Slamet (2018), dan Zulfan dkk (2019) juga menyatakan bahwa proses angkutan sedimen merupakan hasil interaksi dalam proses aliran sungai. Aktivitas agradasi dan degradasi sangat berdampak besar pada perubahan dan dinamika yang terjadi pada morfologi sungai di hilir bendung (Breusers dan Raudkivi, 1991).

2. Desain alternatif/modifikasi

Dalam rangka menyempurnakan desain bendung, maka modifikasi kolam olak diwujudkan ke dalam 2 alternatif perubahan desain peredam energi bendung. Untuk desain peredam energi tambahan digunakan tipe kolam olak datar dengan ambang bergigi. Menurut Yusuf (2013) pada perancangan kolam olak di hilir bendung, pada umumnya panjang kolam olak dapat peredam loncat air, sehingga gerusan di dasar saluran dapat dihindari.



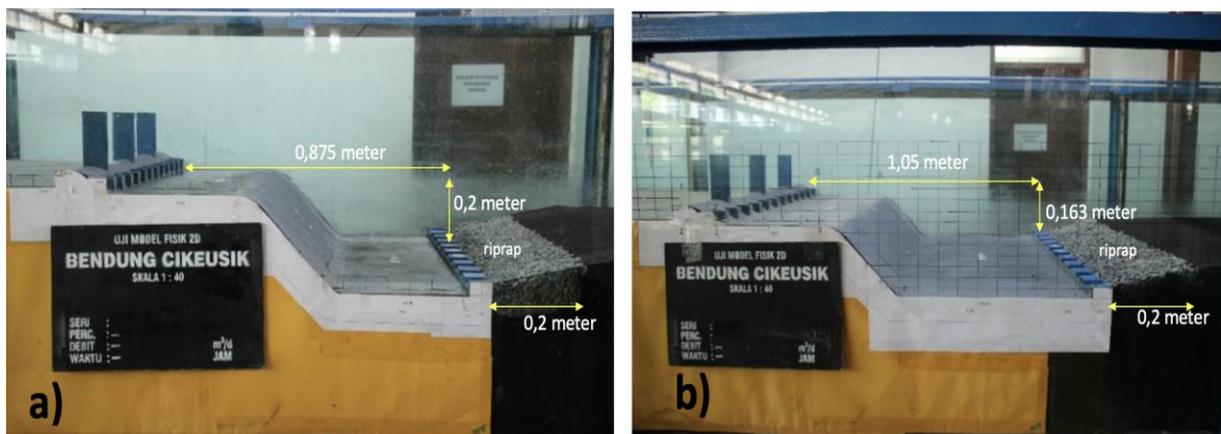
Gambar 13 Pola gerusan pada model Bendung Cikeusik desain eksisting Q_{100} tahun di laboratorium

Perhitungan peredam energi tambahan pada Bendung Cikeusik mengacu pada Standar Perencanaan Irigasi KP-02 (Departemen Pekerjaan Umum, 1986) dan SNI 8063-2015 tentang Tata Cara Desain Hidraulik Tubuh Bendung Tetap dengan Peredam Energi Tipe MDO dan MDS (Badan Standarisasi Nasional, 2015). Berikut merupakan seri-seri perubahan yang dilakukan untuk mendapatkan alternatif penanganan rehabilitasi Bendung Cikeusik:

1. Alternatif seri 1 (Gambar 14a),
 - ambang pada kolam olak eksisting dihilangkan,
 - panjang lantai kolam olak diperpanjang sehingga total panjang 35 meter, dan kedalaman kolam olak ditambah menjadi 7,9 meter serta

- penambahan lapisan riprap batu sepanjang 8 m sebagai perkuatan dasar sungai di hilir ambang.
2. Alternatif seri 2 (Gambar 14b),
 - memperpanjang lantai ruang olak sehingga total panjang 42 meter, dan kedalaman kolam olak menjadi 6.4 meter,
 - menaikkan elevasi kolam olak menjadi +16,00 m.
 - penambahan lapisan riprap batu sepanjang 8 m sebagai perkuatan dasar sungai di hilir ambang.

Model fisik desain alternatif 1 dan 2 dibuat dengan skala model 1:40 seperti ditunjukkan pada Gambar 14. Hasil pengaliran debit $Q_{100\text{tahun}}$ untuk kedua alternatif dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16.



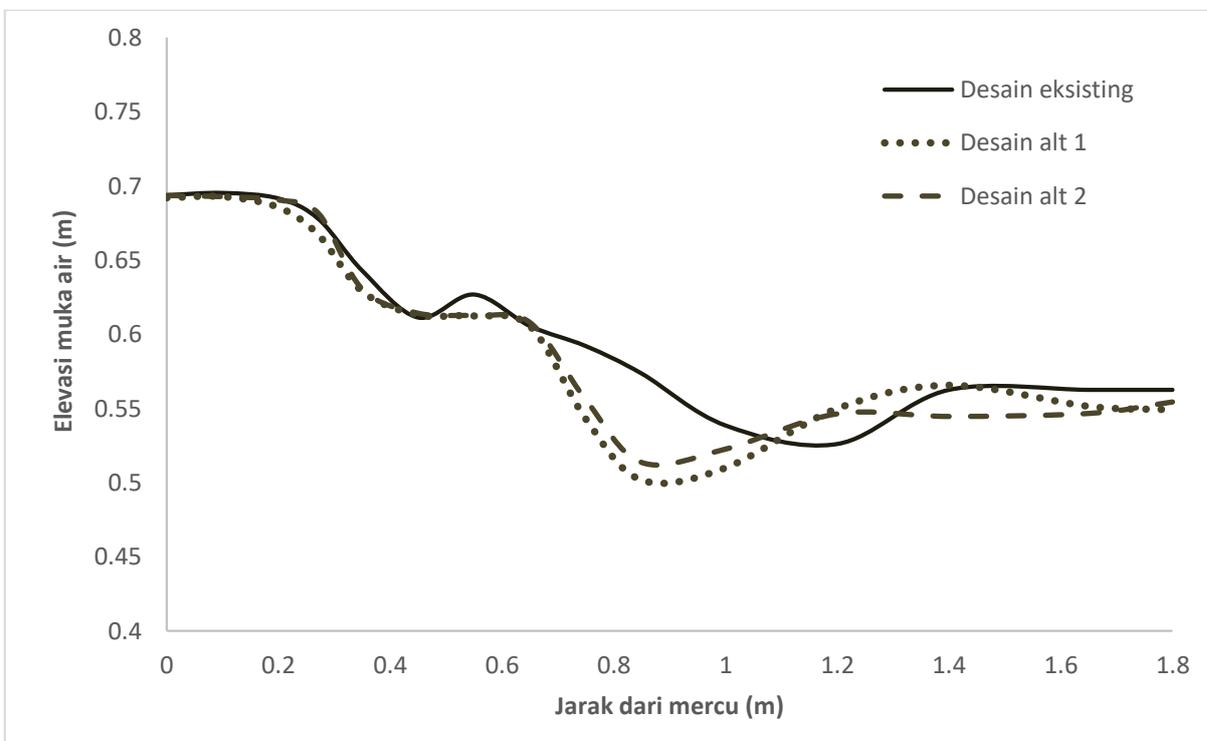
Gambar 14 Alternatif modifikasi model Bendung Cikeusik skala 1:40 a) alternatif 1, b) alternatif 2



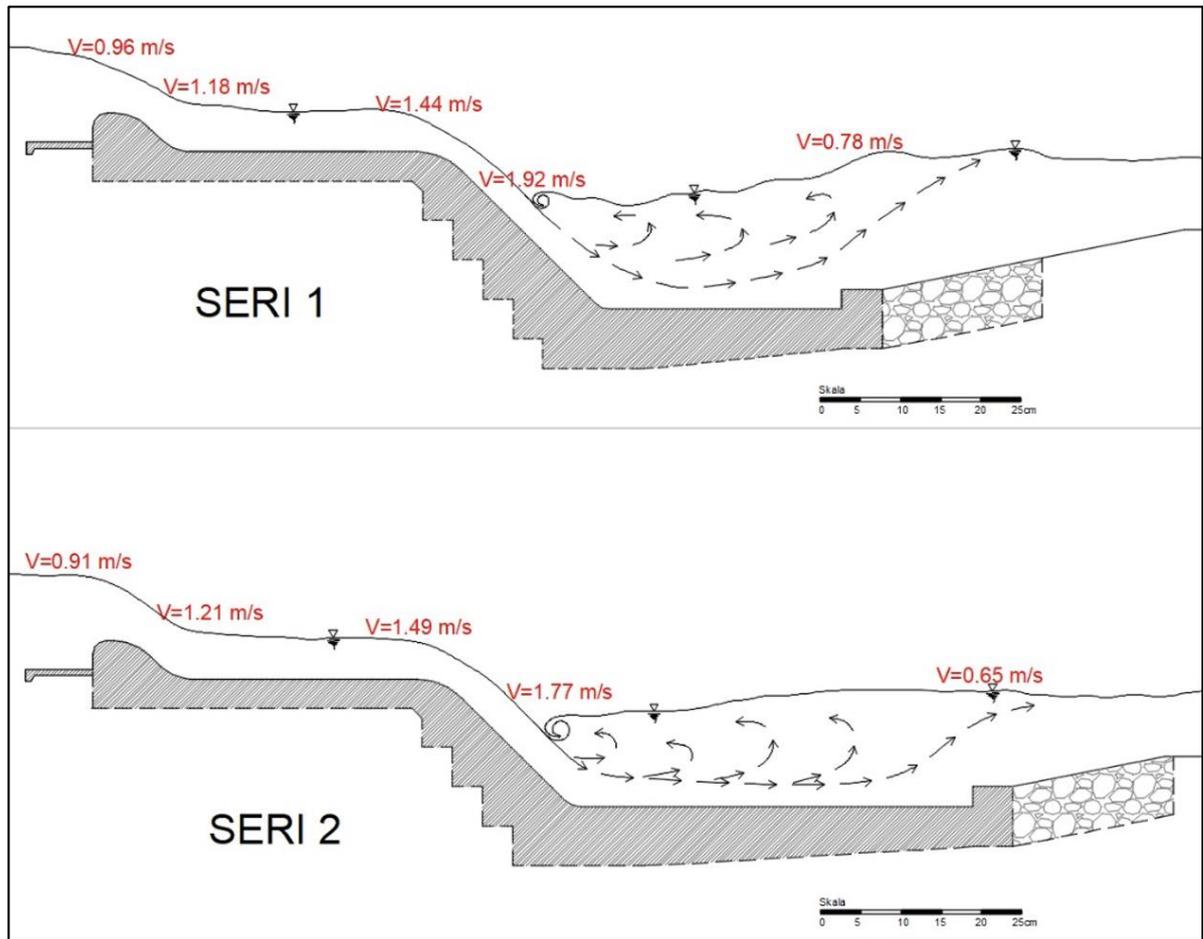
Gambar 15 Kondisi pengaliran pada model Bendung Cikeusik alternatif 1 di laboratorium



Gambar 16 Kondisi pengaliran pada model Bendung Cikeusik alternatif 2 di laboratorium



Gambar 17 Grafik hasil pengukuran profil tma $Q_{100\text{tahun}}$ pada desain eksisting, alternatif 1, dan alternatif 2



Gambar 18 Pola aliran dan kecepatan pada alternatif 1 dan 2

Berdasarkan hasil observasi dan pengamatan di laboratorium seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15 dan Gambar 16, pada kedua alternatif terjadi loncatan air pada lantai dasar kolam olak, sehingga aliran air yang ada di hilir bendung menjadi relatif lebih tenang dapat mengurangi potensi gerusan yang terjadi. Perbandingan profil aliran air pada ketiga kondisi pemodelan dapat dilihat pada Gambar 17, sedangkan perbandingan kecepatan untuk kondisi alternatif ditunjukkan pada Gambar 18. Dari hasil diatas terlihat bahwa pada desain alternatif 1 dan desain alternatif 2 terjadi loncatan hidrolis di hilir struktur bendung sehingga dapat kita identifikasi adanya perubahan karakteristik aliran dari aliran superkritis yang ditunjukkan dengan bilangan froude ($Fr > 1$) ke aliran subkritis ($Fr < 1$).

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \dots\dots\dots [1]$$

Dimana,

Fr = bilangan froude (-)

v = kecepatan aliran (m/s)

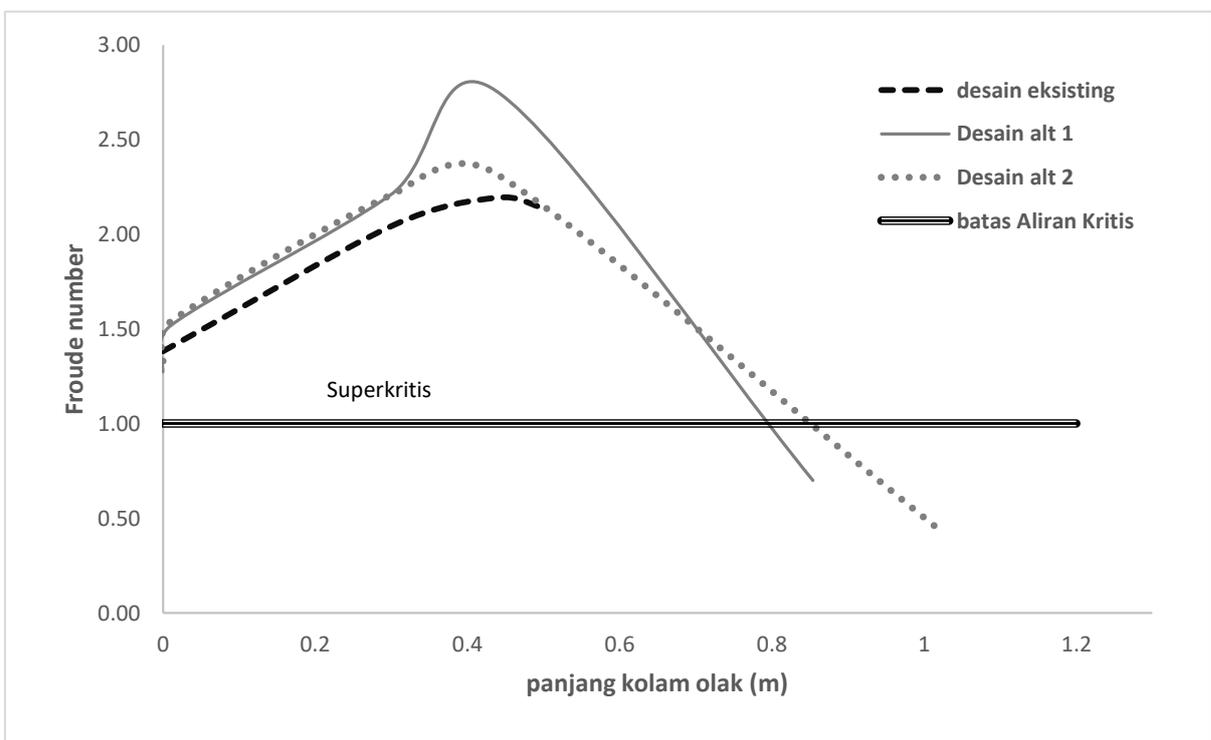
g = gravitasi (m/s^2)

h = kedalaman hidraulik (m)

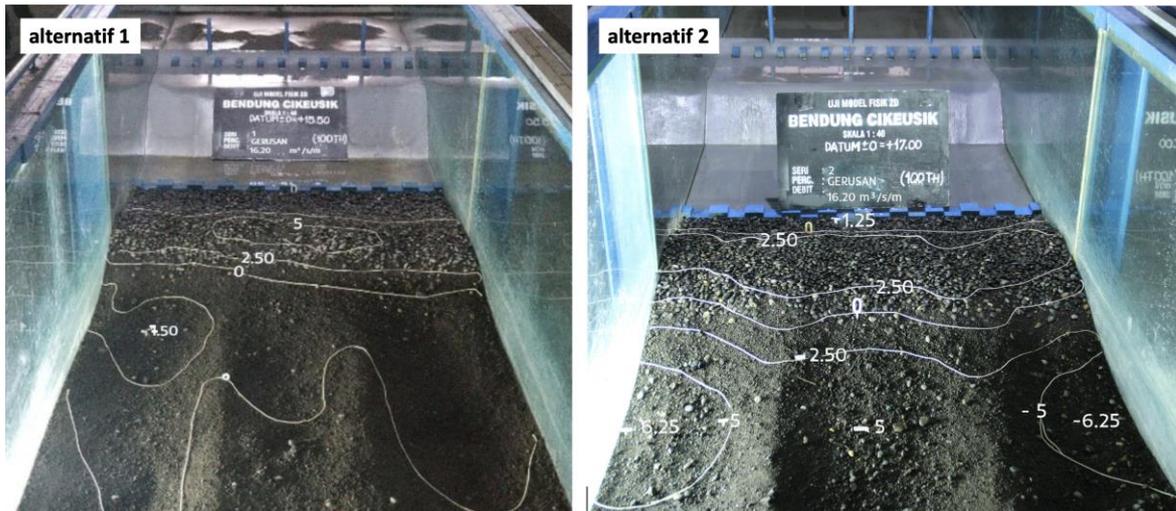
Berdasarkan teori hidrolika, pengaliran pada bendung termasuk pada aliran saluran terbuka, dimana karakteristik aliran dapat dibedakan berdasarkan *Froude Number* (Fr) yang meliputi aliran subkritis dengan nilai Fr lebih kecil 1. Aliran ini mempunyai kekhasan kecepatan aliran yang relatif lambat. Kemudian aliran kritis dengan nilai Fr sama dengan 1. Kemudian yang terakhir adalah aliran superkritis dengan nilai Fr lebih besar dari 1. Aliran ini mempunyai kekhasan yaitu kecepatan aliran yang relatif deras. Parameter *Froude* ini seringkali dijadikan referensi dalam mendesain kolam olak suatu struktur bendung. Berdasarkan grafik perubahan karakteristik aliran pada Gambar 19, terlihat bahwa untuk desain eksisting grafik *froude* berhenti pada jarak 0,5 meter karena ujung lantai kolam olak berhenti di titik tersebut dimana kondisi aliran masih dalam area kondisi superkritis dengan nilai bilangan Froude 2,14. Hal ini tentu akan berdampak pada kondisi kecepatan aliran di hilir bendung yang masih dalam kecepatan yang tinggi dan berpotensi untuk menggerus dasar sungai. Pada kondisi desain alternatif 1, lantai kolam olak sudah diperpanjang dan diperdalam

sehingga ujung grafik bilangan froude sudah berada pada area kondisi sub kritis yaitu 0,7. Namun dengan kemiringan dan kedalaman lantai kolam olak yang ada, kecepatan aliran masih terlalu tinggi yang ditunjukkan dengan adanya puncak grafik ekstrim di Gambar 19, sehingga masih berpotensi menggerus dasar sungai di hilir bendung. Untuk kondisi desain alternatif 2, ujung grafik bilangan froude sudah berada pada area kondisi subkritis yang lebih rendah lagi dari seri 1 yaitu 0,45 dimana kondisi aliran di hilir bendung sudah relatif tenang. Untuk melihat kondisi gerusan yang terjadi dari desain alternatif 1 dan 2, maka dilakukan pengamatan gerusan hilir dengan simulasi pengaliran dengan debit Q_{100th} . Kondisi gerusan sesudah adanya modifikasi kolam olak bendung menjadi lebih baik. Lokasi gerusan terdalam pada kedua alternatif terjadi cukup jauh dari struktur bendung yaitu berjarak 0,875 meter ke arah hilir dari *endsill* atau sekitar 35 cm (skala model) atau 14 meter (skala prototipe). Kedalaman gerusan

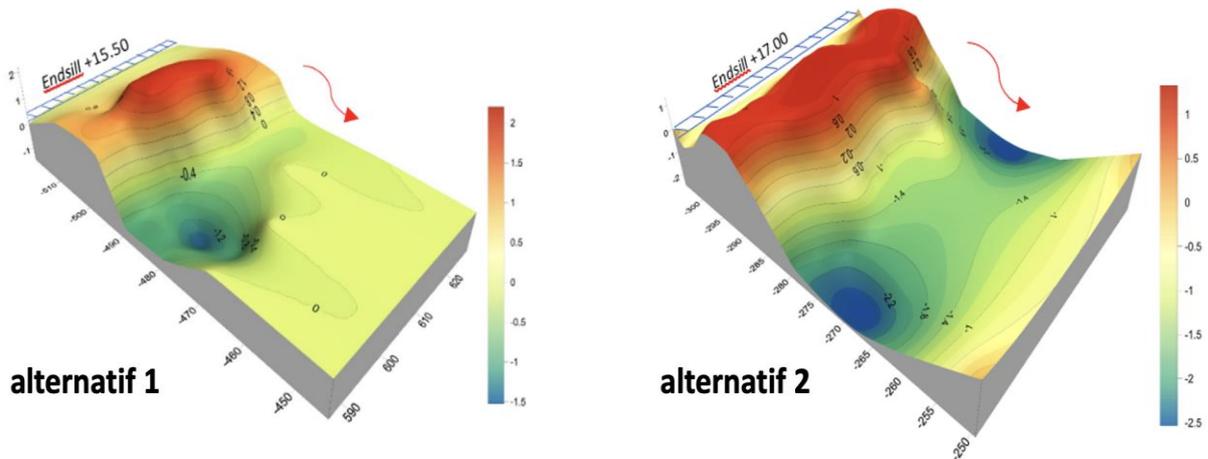
maksimum (ds) pada alternatif 1 yaitu 7,5 cm (skala model) atau sekitar 3 meter (skala prototip). Sedangkan kedalaman gerusan maksimum untuk alternatif 2 sedalam 6,25 cm (skala model) atau sekitar 2,5 meter (skala prototip). Hasil simulasi gerusan hilir dapat dilihat pada Gambar 20 dan Gambar 21. Secara umum, berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan hasil pengujian model fisik di Laboratorium Hidrolika, terlihat adanya peningkatan kinerja bendung khususnya pada bagian kolam olak yang berfungsi untuk meredam energi aliran. Tabel 2 menunjukkan bahwa adanya perbedaan kinerja efektifitas peredaman energi, dimana desain alternatif 2 lebih baik dibandingkan desain alternatif 1. Oleh karena itu, desain alternatif 2 dipilih untuk digunakan sebagai desain rehabilitasi Bendung Cikeusik. Gambaran bangunan bendung Cikeusik yang sudah di rehabilitasi pada kondisi normal di bulan Januari 2022 dapat di lihat pada Gambar 22.



Gambar 19 Grafik perubahan karakteristik aliran



Gambar 20 Pola gerusan pada Bendung Cikeusik alternatif 1 dan 2 skala model



Gambar 21 Pola gerusan pada Bendung Cikeusik alternatif 1 dan 2 skala prototipe

Tabel 2. Rekap hasil pengamatan

No	skenario	Fr number (-)	kedalaman gerusan maksimum skala model (cm)	kedalaman gerusan maksimum skala prototipe (m)	Lokasi gerusan skala model (cm)
1	Desain eksisting	2,14	35	14	di depan endsill
2	Desain alt 1	0,70	7,5	3	87,5 cm dari endsill, sisi kanan
3	Desain alt 2	0,45	6,25	2,5	87,5 cm dari endsill, sisi kanan



Gambar 22 Kondisi Bendung Cikeusik setelah dilakukan perbaikan dengan desain alternatif 2

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji model fisik yang telah dilakukan, teridentifikasi bahwa salah satu penyebab kerusakan Bendung Cikeusik adalah karena desain kolam olak yang kurang sesuai dengan kondisi pengaliran Sungai Cikeusik dimana peredaman energi tidak bisa dilakukan dengan optimal. Oleh karena itu, untuk mengembalikan fungsi bendung ke kondisi semula, desain alternatif 2 merupakan desain yang paling optimum dari sisi efektivitas peredaman energi dan menurunkan potensi terjadinya kedalaman maksimum gerusan dasar sungai di hilir bendung sampai 80% dari kondisi eksisting. Penambahan panjang lantai kolam olak dari 20 meter ke 42 meter dengan kedalaman dari 2,5 meter menjadi 6,5 meter, serta penambahan riprap batu sepanjang 8 meter pada skala prototip menjadi rekomendasi akhir. Hal ini dikarenakan desain ini dapat membantu mengakomodasi aliran dari aliran superkritis ke aliran subkritis sehingga aliran di hilir Bendung Cikeusik dapat dikendalikan dan relatif tenang. Dengan adanya rekomendasi desain kolam olak yang baru ini, diharapkan dapat menjadi solusi permanen untuk kerusakan Bendung Cikeusik sehingga tidak terjadi lagi kerusakan kolam olak dimasa depan, Berdasarkan pengamatan terakhir setelah rekomendasi desain kolam yang baru ini diterapkan, kondisi aliran terlihat lebih baik dari sebelumnya. Pada saat banjir, peredaman energi berfungsi dengan baik. Hasil pengujian ini,

diharapkan dapat dijadikan alternatif penanganan kerusakan kolam olak tidak hanya di Bendung Cikeusik namun di lokasi lain yang mempunyai kejadian dan kasus serupa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Hidrolika, Balai Hidrolika dan Geoteknik Keairan serta semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tulisan ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi para pengelola bendung, akademisi dan masyarakat pada umumnya

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2015). *Tata Cara Desain Hidraulik Tubuh Bendung Tetap Dengan Peredam Energi Tipe MDO dan Tipe MDS* (SNI 8063-2015).
- Balai Besar Cimanuk Cisanggarung. (2020). *Kajian Banjir Sungai Cikeusik*. Cirebon: Balai Besar Cimanuk Cisanggarung, Kementerian PUPR.
- Breusers, H.N.C., & Raudkivi, A.J. (1991). *Scouring IAHR Hydraulic Structure Design Manual*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Direktorat Jenderal Pengairan (1986). *Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama (KP-02)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

- Heller, V. (2011). Scale effects in physical hydraulic engineering models. *Journal of Hydraulic Research*, 49(3), 293–306.
- Inayatullah, I., & Winasis, A. (2018). Analisis Kinerja Sistem Daerah Irigasi Bendung Cikeusik Kabupaten Kuningan. *Jurnal Konstruksi*, 7(4), 265-276.
- Kumala, Y. E., Lestari, S., & Zulfan, J. (2018). Study to Minimize the Local Scour Downstream of Stilling Basin. The 21st Congress of IAHR - Asia Pacific Division (APD). Makalah dipresentasikan pada *6th Regional Conference on Natural Disaster (RCND)*, Yogyakarta, Indonesia.
- Legono, D. (1990). Gerusan pada Bangunan Sungai. Yogyakarta: PAU Ilmu-Ilmu Teknik UGM.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. (2020). *Laporan Uji Model Test 2D Rehabilitasi Bendung Cikeusik*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Raudkivi, A.J., & Ettema R. (1983). Clear-Water Scour at Cylindrical Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109 (3), 338-350.
- Yusuf, M., & Wibowo, G.E. (2013). Pengaruh pelimpah bertangga tipe akar terpotong terhadap panjang loncat air dan kehilangan energi pada kolam olak. Makalah dipresentasikan pada *1st International Conference on Infrastructure Development*, Surakarta, Indonesia.
- Zulfan, J. (2017). Optimasi hidraulik penanganan gerusan di hilir bendung. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 8 (1), 15-28.
- Zulfan, J., & Slamet, N. S. (2018). Experimental Investigation on Stepped Spillway of Cisokan Dam in Indonesia. Makalah dipresentasikan pada *ICOLD Congress 2018*, Vienna, Austria. DOI: 10.3217/978-3-85125-620-8-057
- Zulfan, J., Lestari, S., & Kumala, Y. E. (2019). Scouring analysis on flip bucket spillway of Cisokan Lower Dam using experimental investigation. Makalah dipresentasikan pada *ICOLD Congress 2019*, Ottawa, Canada. DOI: 10.1201/9780429319778-10
- Zulfan, J., & Ginting, B. M. (2021). Investigation of spillway rating curve via theoretical formula, laboratory experiment, and 3D numerical modeling: A case study of the Riam Kiwa Dam, Indonesia. Makalah dipresentasikan pada *The 4th International Conference of Water Resources Development and Environmental Protection*, Surabaya, Indonesia. DOI: 10.1088/1755-1315/930/1/012030