

**OPTIMASI HIDRAULIK PENANGANAN GERUSAN DI HILIR BENDUNG  
(Studi kasus : Bendung Rengrang, Jawa Barat)**

**HYDRAULIC OPTIMIZATION FOR MITIGATING LOCAL SCOUR DOWNSTREAM OF  
WEIR  
(Case study : Rengrang Weir, West Java)**

**James Zulfan**

Balai Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air  
Jl.Ir.H.Juanda no.193 Dago, Bandung, Indonesia  
e-mail : jameszulfan@gmail.com

**ABSTRAK**

*Permasalahan gerusan yang terjadi di hilir bendung akibat dari energi loncatan hidraulik yang belum cukup terdisipasi dengan baik sehingga membahayakan struktur bendung, terlebih jika kondisi dasar sungai di hilir bendung dibiarkan tanpa adanya proteksi atau perkuatan. Dengan adanya korelasi yang kuat antara debit dan kedalaman gerusan yang terjadi maka diperlukan perkuatan dasar sungai untuk menjaga kestabilan struktur bendung. Penanganan permasalahan ini bisa diselesaikan dengan memasang pengaman dasar sungai di hilir bendung. Studi ini mengkaji efektifitas dari 3 alternatif perkuatan di hilir bendung melalui uji model fisik 3 dimensi dengan menganalisis korelasi antar parameter hidraulik dan kedalaman gerusan yang terjadi. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika dengan lokasi studi kasus Bendung Rengrang di Provinsi Jawa Barat. Berdasarkan hasil penelitian, perkuatan hilir bendung efektif untuk mengurangi kedalaman gerusan. Alternatif perkuatan dengan riprap batu lebih direkomendasikan dengan pertimbangan kemudahan, ekonomis, dan ketersediaan material di lapangan.*

**Kata kunci :** Bendung, Gerusan Lokal, Riprap, Sungai, Uji Model Fisik

**ABSTRACT**

*Scouring issues which occurred at downstream of a weir can potentially endanger the weir's structure if the hydraulic jump is not properly dissipated, especially when the downstream river bed is unprotected. Due to strong correlation between discharge and the depth of the scour emerge, downstream protection is needed to maintain structure stability. To solve this problem, heavy protection is set at downstream of the weir such as riprap to prevent the scouring. This study aims to review the effectiveness of 3 alternative measures through 3 dimensional physical model test by assessing the correlation among hydraulic parameters and the depth of the scour. The experiment were performed at hydraulic laboratory with a case study of Rengrang Weir in West Java. Based on laboratory test, hydraulic measures are effective to reduce the impact of the scouring. Alternative measures with riprap is more preferably because the easiness, economic and availability of the material on site.*

**Keyword :** Weir, Local Scouring, Riprap, River, Physical Model Test

## PENDAHULUAN

Sebagai salah satu negara agraris di dunia, Indonesia dituntut untuk bisa mempertahankan bahkan meningkatkan produksi pertaniannya dalam rangka mewujudkan ketahanan pangan. Hal ini tentu perlu didukung dengan penyediaan infrastruktur pelengkap yang baik untuk menunjang pengelolaan lahan pertanian, salah satunya adalah dengan adanya bendung irigasi yang handal. Berdasarkan data dari Pusdata Kementerian PUPR (2015), terdapat sekitar 1.446 bendung yang tersebar di seluruh provinsi di Indonesia. Dengan jumlah bendung yang banyak itu maka pemeliharannya pun menjadi tantangan tersendiri bagi pengelola bendung. Perencanaan dan desain dari bangunan irigasi seperti bendung harus direncanakan secara matang supaya terhindar dari ancaman kerusakan struktur yang dapat berakibat fatal. Hal ini juga sejalan dengan informasi dari Kementerian PUPR, bahwa kondisi prasarana jaringan irigasi termasuk di dalamnya bangunan bendung yang berada pada tahap yang memerlukan perhatian khusus. Menurut Abdurrosyid (2005), sebagian besar kerusakan bendung yang terjadi disebabkan karena adanya gerusan di hilir bendung yang disebabkan energi dari loncatan hidraulik. Gerusan tersebut dapat merusak dasar saluran dan mengganggu kestabilan struktur bendung. Oleh karena itu, perlu adanya kajian tentang kerusakan dan pola penanganannya sehingga dapat dijadikan referensi dalam penanganan dan pencegahan kerusakan bendung. Penelitian serupa mengenai gerusan di hilir bendung ini sudah banyak dilakukan baik di dalam maupun di luar negeri seperti Breusers dan Raudkivi (1991), Hoffmans dan Verheij (1997), Christine dkk (2003), Lenzi et al (2003), Yulistiyanto (2009), Rahmadani (2014), Ota dan Sato (2015) dan Amin (2015). Hal ini menunjukkan bahwa kecenderungan permasalahan yang terjadi pada bangunan bendung sebagian besar terjadi di hilir bendung. Meskipun telah banyak metode penanganan yang dikembangkan mulai dari modifikasi peredam energi dan *endsill*, perlindungan dasar saluran, dan lain-lain, namun hingga saat ini belum ada kajian yang membandingkan alternatif-alternatif penanganan yang ada melalui uji model fisik. Karena itu, tulisan ini akan membahas

mengenai alternatif-alternatif penanganan struktur pada kerusakan bendung khususnya yang diakibatkan oleh gerusan lokal di hilir bendung melalui uji model fisik 3 dimensi di laboratorium Hidraulika. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan alternatif desain perkuatan dasar sungai di hilir bendung yang paling efektif mengatasi gerusan lokal.

Lokasi studi kasus di dalam tulisan ini adalah Bendung Rengrang yang berada pada Sungai Cipeles di Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat. Hulu Sungai Cipeles berada di Kecamatan Sukasari dan bermuara ke Sungai Cimanuk di Kecamatan Tomo.

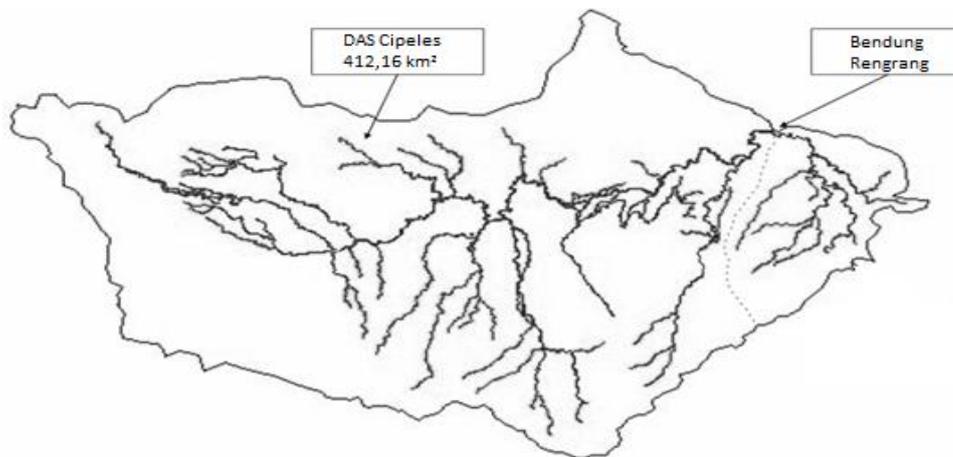
Secara geografis sub DAS Cipeles membentang dari 107° 45' 34" - 108° 01' 57" Bujur Timur dan 108° 45' 57" - 06° 57' 59" Lintang Selatan. Bendung ini direncanakan untuk mengairi Daerah Irigasi Rengrang seluas 2.216 Ha serta suplesi ke Daerah Irigasi Ujung Jaya seluas 1.603 Ha sehingga total area yang diairi seluas 3.819,16 Ha. Kondisi tata guna lahan yang ada terdiri atas lahan hutan, semak belukar, tegalan, areal irigasi dan permukiman. Sebagaimana diinformasikan dalam laporan Review Desain Bendung Rengrang (BBWS Cimanuk Cisanggarung, 2013), terdapat potensi gerusan di hilir Bendung Rengrang sehingga diperlukan desain perkuatan dasar sungai di hilir bendung. Foto lokasi studi kasus dapat dilihat pada Gambar 1 sedangkan Gambar DAS dari Bendung Rengrang dapat dilihat pada Gambar 2.

## KAJIAN PUSTAKA

Sejak sistem irigasi mulai diperkenalkan di Indonesia, pembangunan bendung semakin gencar dilaksanakan untuk mendukung ketersediaan suplai air ke jaringan irigasi yang ada. Berdasarkan SNI 03-7043-2004 tentang Tata cara desain hidraulik tubuh bendung tetap dengan peredam energi tipe MDL. Bendung adalah suatu bangunan air dengan kelengkapan yang dibangun melintang sungai atau sudetan yang sengaja dibuat untuk meninggikan taraf muka air atau untuk mendapatkan tinggi terjun, sehingga air sungai dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi atau dengan pompa ke tempat tertentu. Komponen utama bendung terdiri atas tubuh bendung, bangunan pengambil, bangunan pembilas, dan bangunan pelengkap.



Gambar 1 Foto aerial wilayah Bendung Rengrang



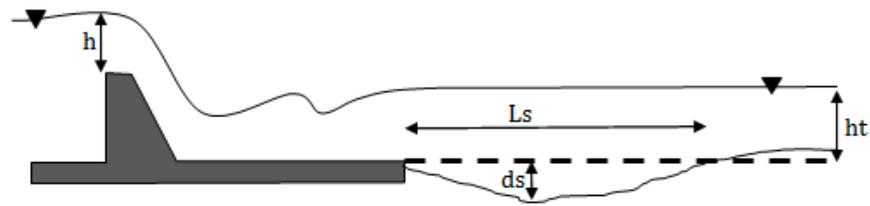
Gambar 2 Daerah Aliran Sungai Cipeles

### Gerusan Lokal

Fenomena gerusan lokal biasa terjadi di hilir bendung karena adanya loncatan hidraulik yang diakibatkan limpasan aliran super kritis pada pelimpah bendung (Gambar 3). Menurut Raudkivi dan Ettema (1983), gerusan terdiri atas 3 macam yaitu:

1. Gerusan umum  
Pada kondisi ini gerusan yang terjadi disebabkan oleh energi dari aliran air dan tidak dipengaruhi oleh adanya struktur bangunan hidraulik.
2. Gerusan terlokalisir  
Pada kondisi ini gerusan terjadi di alur sungai akibat mengecilnya alur atau morfologi sungai sehingga menyebabkan aliran air menjadi lebih terpusat.
3. Gerusan lokal  
Pada kondisi ini gerusan terjadi akibat pola aliran sungai di sekitar bangunan sungai.

Breusers dan Raudkivi (1991) menjelaskan bahwa gerusan lokal (*local scour*) pada struktur hidraulik harus ditambah dengan gerusan umum (*general scour*) dan gerusan terlokalisir (*localized scour/constriction scour*) untuk mendapatkan kedalaman gerusan maksimum yang akan digunakan dalam perencanaan. Selain itu, Legono (1990) juga menyatakan bahwa gerusan terjadi akibat mobilisasi material sungai akibat interaksi antara aliran sungai. Peneliti lain seperti Melville (2015) dan Pilarczyk (2012) menyatakan gerusan sebagai fenomena alam yang disebabkan oleh aliran sungai yang sebabkan oleh perbuatan manusia. Perubahan dinamik morfologi sungai di hilir bendung sangat dipengaruhi oleh proses degradasi dan aggradasi dasar sungai dan penanggulangan gerusan lokal akan sangat tergantung dari dalamnya gerusan sungai tersebut (Wisafri, 2014).



Keterangan :  
*h* : tinggi muka air diatas mercu (meter),  
*ht* : tinggi muka air hilir (meter),  
*ds* : kedalaman gerusan (meter),  
*Ls* : panjang gerusan (meter)

**Gambar 3** Ilustrasi gerusan di hilir bendung

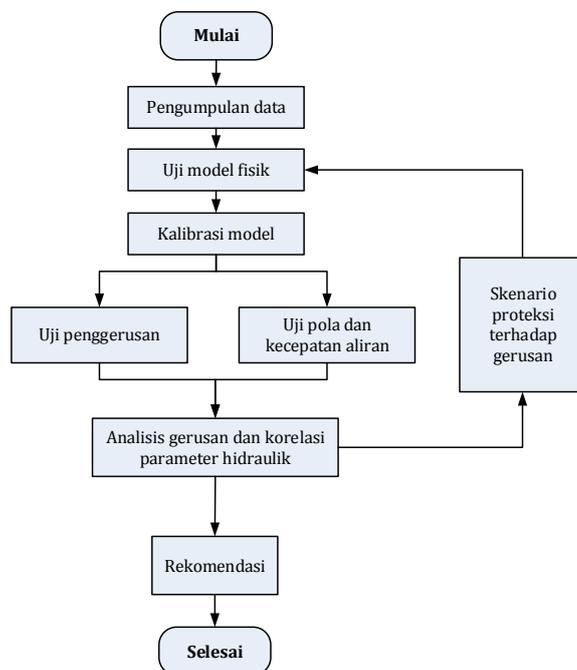
**Uji Model Hidraulik Fisik**

Model fisik biasanya dipakai untuk mensimulasi perilaku hidraulik pada prototip bangunan air (bendung, pelimpah bendungan/embung, pelindung sungai tak langsung/krib, penangkap sedimen dan lain-lain) yang direncanakan dengan skala lebih kecil. Uji model hidraulik dilakukan untuk menyelidiki perilaku hidraulik dari seluruh bangunan atau masing-masing komponennya. Uji model fisik memungkinkan untuk menirukan suatu permasalahan nyata di lapangan pada skala model yang lebih kecil. Skala model adalah perbandingan antara besaran di lapangan dan besaran di model, yaitu parameter *n*. Skala parameter hidraulik (*n*) didefinisikan sebagai perbandingan nilai parameter di prototip dan nilai korespondensinya di dalam model. Skala

panjang horisontal dan vertikal yang digunakan pada model adalah sama, maka digunakan model hidraulik tidak distorsi (Pusair, 2015).

**METODOLOGI**

Penelitian ini difokuskan pada pemodelan fisik 3 dimensi yang dilaksanakan di laboratorium Hidraulika Puslitbang SDA. Data sekunder didapatkan dari Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk Cisanggarung, konsultan, dan buku referensi yang relevan meliputi data teknis bendung, topografi sungai, dan debit desain sungai. Model bendung dibuat di laboratorium dengan skala 1 : 33⅓ dan luas bidang model 5 x 20 meter.



**Gambar 4** Metodologi penelitian

Skala model ditentukan dengan pertimbangan ketersediaan lahan di laboratorium hidraulika dan area yang akan diamati. Pengujian yang dilakukan di laboratorium hidraulik adalah pengujian pengaliran dengan variasi debit desain ( $Q_{2thn}$ ,  $Q_{20thn}$ , dan  $Q_{100thn}$ ). Skenario pengujian meliputi kondisi eksisting dengan pengujian penggerusan, pola dan kecepatan aliran yang kemudian dilanjutkan dengan analisis gerusan dan korelasi parameter hidraulik untuk melihat efek penggerusan yang terjadi sebelum ada perkuatan dasar sungai. Setelah itu, alternatif desain perkuatan dasar sungai diterapkan di hilir bendung, kemudian dilakukan pengujian dan analisis hasil gerusan dilaksanakan dengan membandingkan parameter hidraulik yang ada. Bagan alir metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Desain Bendung Rengrang

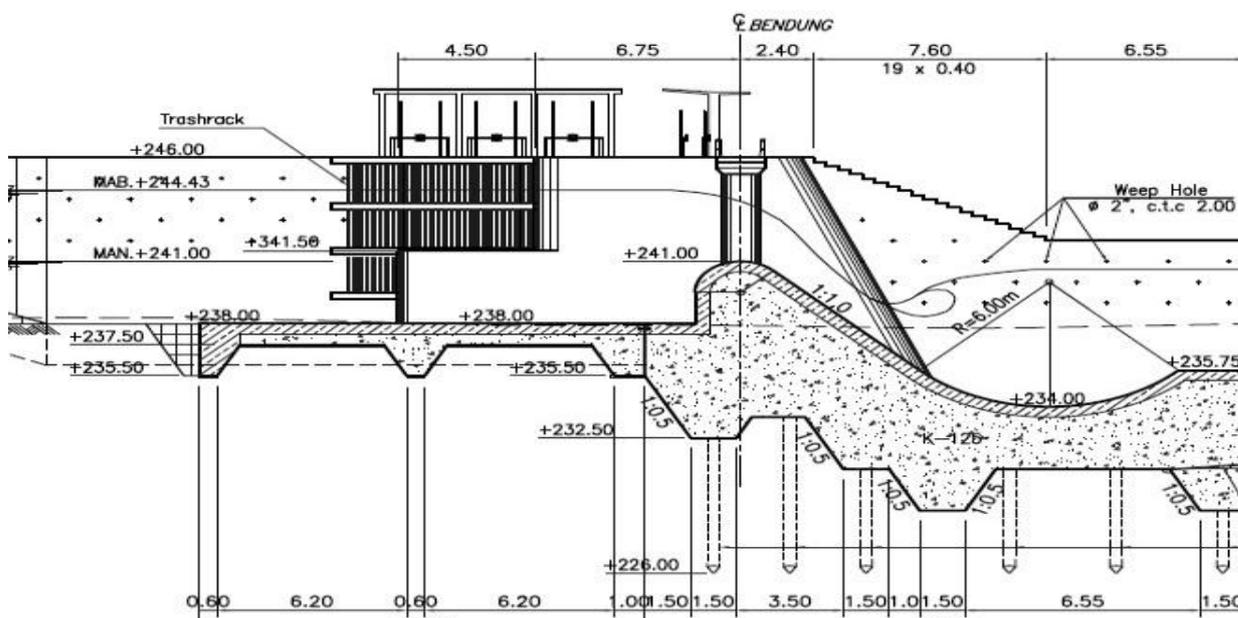
Desain awal Bendung Rengrang direncanakan dibangun dengan tipe bendung tetap, tinggi bendung 3 meter, lebar bendung 55 meter, mercu tipe bulat dengan jari-jari 1,5 meter, dan peredam energi tipe cekung dengan jari-jari cekungan 6 meter didesain sesuai SNI 03-7043-2004 (BSN, 2004). seperti terlihat pada Gambar 5. Peredam energi tipe cekung ini banyak diterapkan pada bendung tetap sejak

tahun 1970-an dengan pertimbangan lokasi bendung dan jenis material sedimen yang ada di sungai.

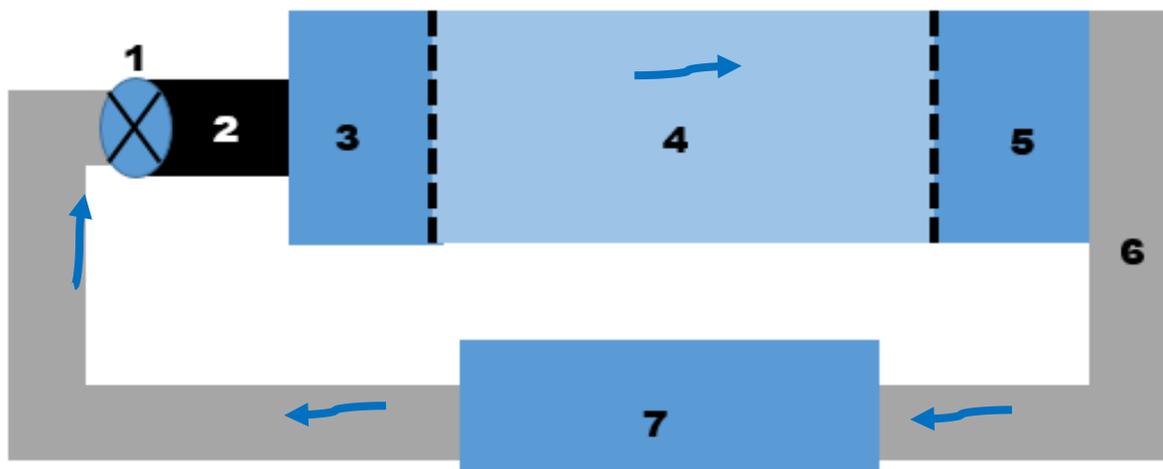
Pemanfaatan tipe ini adalah untuk menjauhkan lokasi penggerusan setempat dari koperan, selain itu dengan peredam energi tipe cekung dapat menghindarkan benturan batu langsung pada permukaan tubuh bendung dan peredam energinya. Gambar desain Bendung Rengrang eksisting dapat dilihat pada Gambar 5.

### Uji Model Fisik 3 dimensi

Uji model fisik 3 dimensi di laboratorium dilaksanakan untuk melihat efektivitas peredam energi untuk meredam aliran air yang dapat menggerus dasar sungai di hilir bendung. Gambar 6 menggambarkan skema fasilitas pengujian 3 dimensi di laboratorium. Skenario pengaliran dibedakan menjadi 2 bagian yaitu kondisi awal (tanpa perkuatan dasar sungai hilir) dan kondisi modifikasi (dengan perkuatan dasar sungai hilir). Gambaran kondisi seri awal model bendung dapat dilihat pada Gambar 7. Untuk melihat efek penggerusan pengaliran debit dilakukan dalam waktu satu jam dengan debit  $Q_{2th}$ ,  $Q_{20th}$ , dan  $Q_{100thn}$  (Tabel 1). Gambar 8 menunjukkan situasi model bendung saat dilakukan pengaliran dengan debit desain.



Gambar 5 Desain Bendung Rengrang



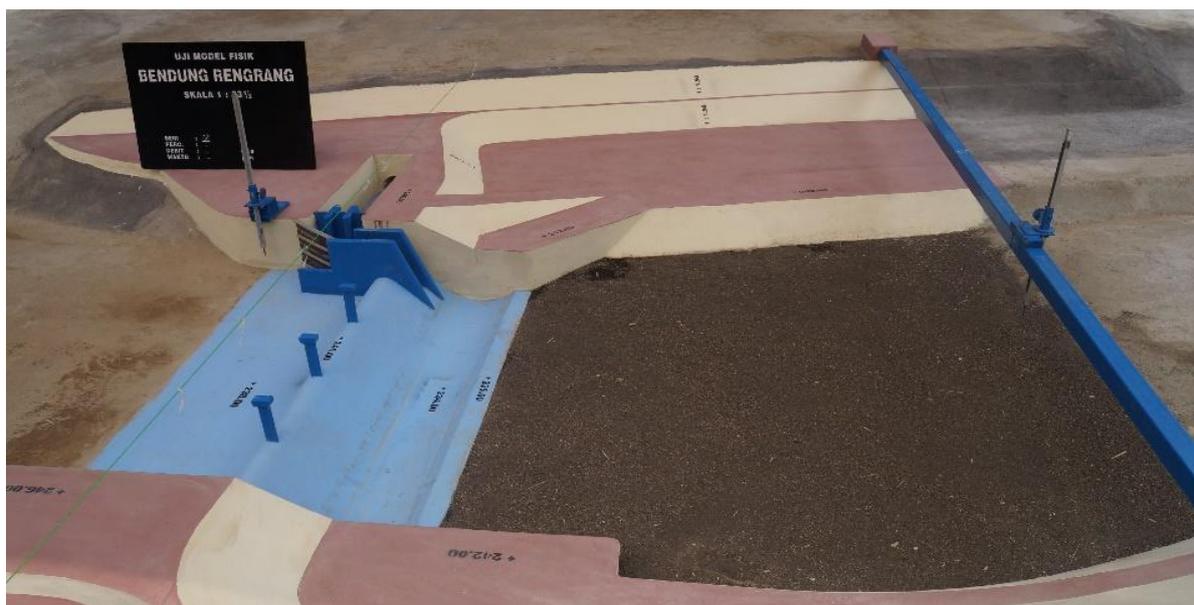
- Keterangan :
- 1 : pompa air
  - 2 : bak ukur
  - 3 : bak penenang
  - 4 : area model fisik
  - 5 : bak pembuangan
  - 6 : saluran pembuang
  - 7 : kolam simpan air

**Gambar 6** Skema fasilitas pengujian model fisik di laboratorium hidraulika

**Tabel 1** Debit desain Bendung Rengrang

Kala ulang (tahun)	Debit Banjir (m <sup>3</sup> /s)
2	222,087
20	497,342
100	747,745

sumber : BBWS Cimanuk Cisanggarung, 2015



**Gambar 7** Kondisi eksisting (awal) Bendung Rengrang sebelum pengaliran



Gambar 8 Percobaan pengaliran Bendung Rengrang, a) tampak samping, b) tampak dari hilir

### Analisis Gerusan di Hilir Bendung

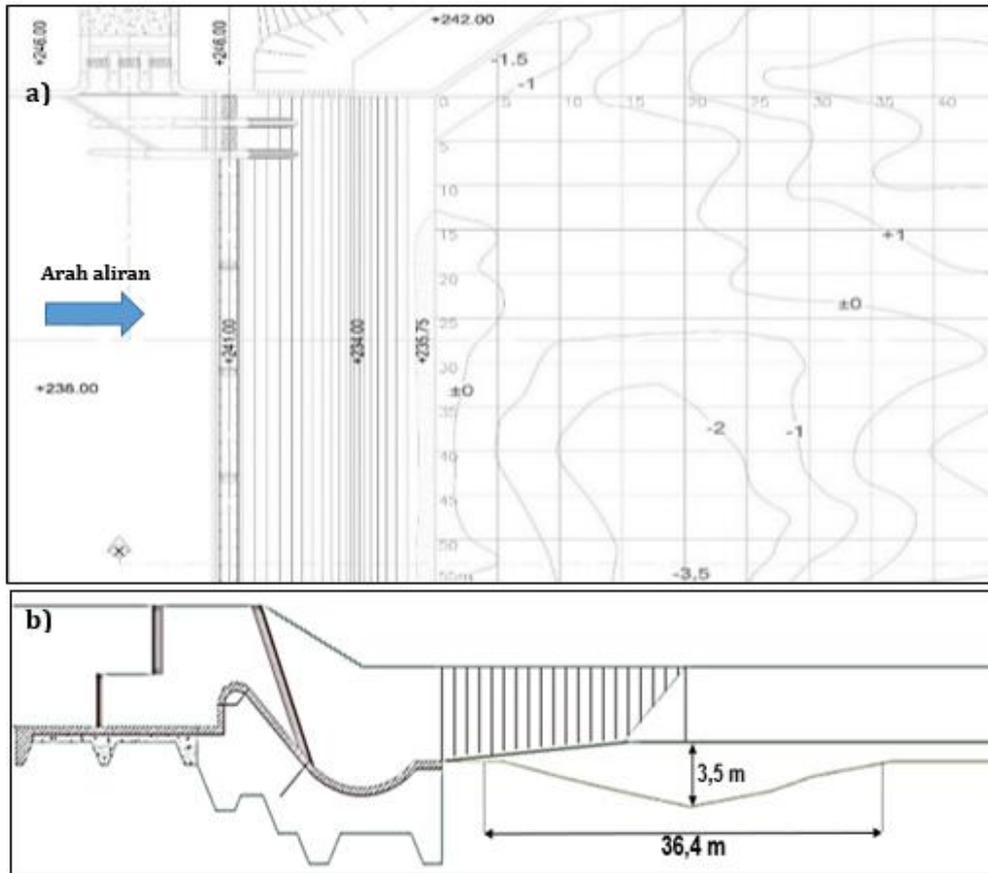
Berdasarkan hasil uji model fisik pada kondisi eksisting diketahui terjadi loncatan air di kolam olakan. Namun energi aliran masih belum terdisipasi dengan baik oleh peredam energi sehingga menyebabkan masih terjadinya gerusan di hilir bendung. Pola aliran juga cenderung lebih dominan di sebelah kanan akibat adanya bangunan pembilas di sebelah kiri sehingga gerusan terdalam lebih banyak terjadi pada sisi sebelah kanan. Kedalaman maksimum gerusan yang diamati setelah pengaliran debit  $Q_{100th}$  mencapai 3,5 meter di area kakitembok sayap kanan dengan panjang lubang gerusan sebesar 36,4 meter.

Hal ini merupakan kondisi ekstrim yang dapat terjadi akibat olakan dari loncatan hidraulik yang menggerus sedimen dasar sungai yang didominasi oleh pasir. Dengan kondisi tidak adanya pengaman di hilir bendung membuat dasar sungai sangat rentan tergerus oleh energi aliran air yang terjadi. Oleh karena itu, diperlukan adanya pengamanan di hilir bendung untuk melindungi dasar saluran dari bahaya gerusan lokal di hilir bendung. Pola gerusan yang terjadi pada debit  $Q_{100th}$  dapat dilihat pada Gambar 9. Melihat efek gerusan yang terjadi, diperlukan suatu penanganan perkuatan dasar sungai di hilir bendung. Perkuatan ini dapat dilakukan dengan beberapa alternatif antara lain dengan pemasangan riprap di hilir bendung. Simon dan Sentruk (1992) mengemukakan bahwa riprap melengkapi lantai apron secara menerus di bagian hilir yang berfungsi untuk melindungi gerusan pada dasar saluran, karena terbukti bahwa gerusan disebabkan oleh perpindahan endapan sedimen atau akibat pusaran aliran sebagai kompensasi dari peredaman energi.

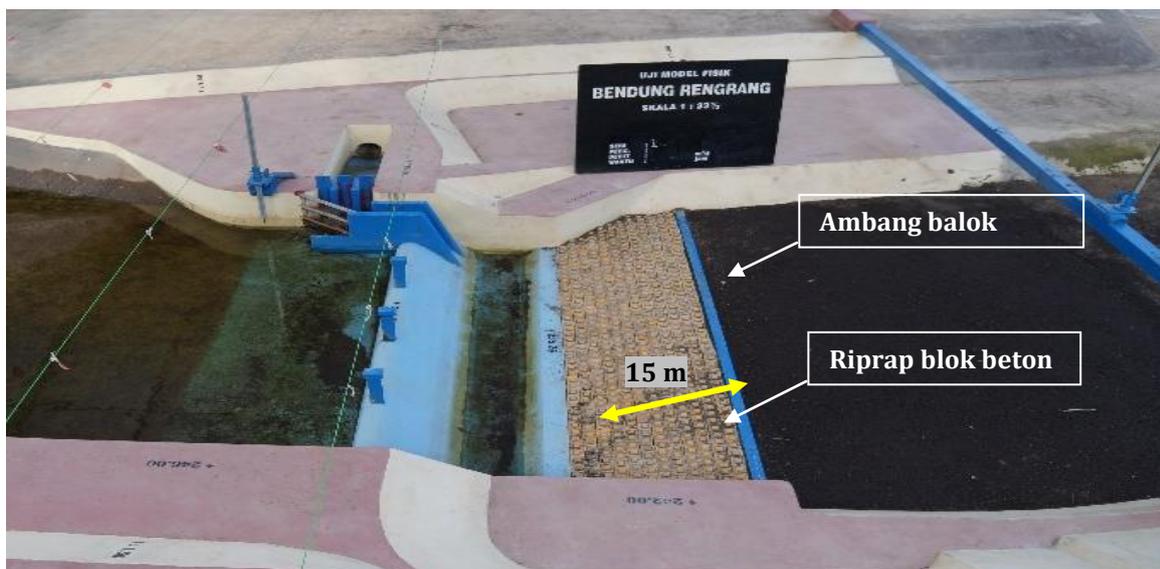
Beberapa kondisi yang memerlukan riprap antara lain yaitu pengaruh peredaman energi

dan pencegahan gerusan lokal, terjadi kelokan karena adaptasi terhadap penurunan, sebagai tahanan pelindung kemampuan sedimen melintas saluran dan menggerus. Batu riprap yang diletakkan di dasar dan tebing pada bagian hilir kolam olakan digunakan untuk melindungi gerusan yang disebabkan oleh ombak dan sisa energi yang direduksi oleh kolam olakan. Oleh karena itu dilakukan upaya pengamanan dasar saluran dengan menggunakan beberapa alternatif sebagai berikut:

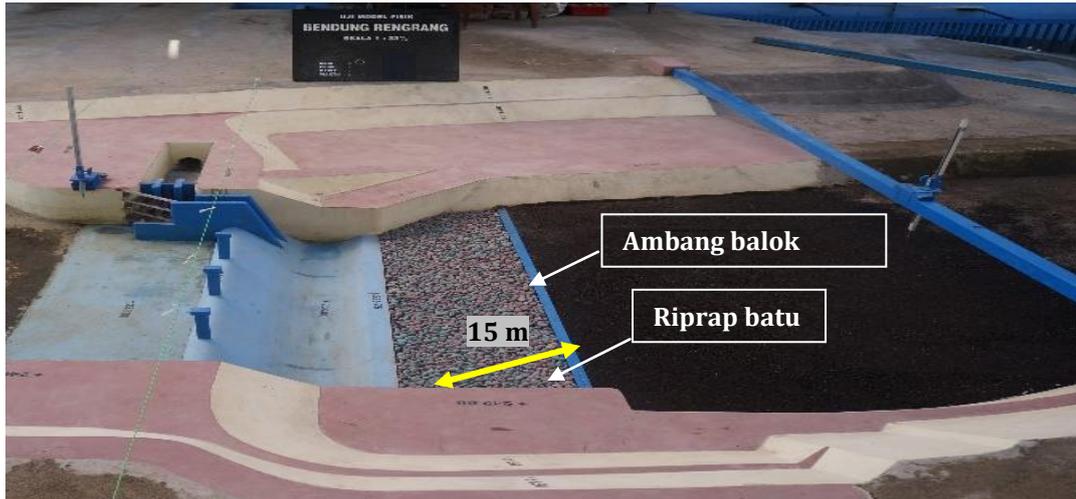
1. Alternatif 1, perkuatan dasar sungai di hilir bendung setelah peredam energi dengan material rip-rap dengan blok beton (dimensi 1,0 x 1,0 meter), dipasang merata mengikuti lebar bendung dari sayap kiri ke kanan dengan panjang 15 meter ke arah hilir. Di ujung susunan blok beton dipasang ambang balok menerus yang berfungsi sebagai pembatas blok beton dengan tanah asli (Gambar 10).
2. Alternatif 2, penanganan seperti pada alternatif 1 namun material blok beton diganti dengan material rip-rap batu batuan  $\geq 0,4$  meter. Diujung susunan riprap batu dipasang ambang balok menerus yang berfungsi sebagai pembatas riprap dengan tanah asli (Gambar 11).
3. Alternatif 3, pengaman dasar sungai di hilir peredam energi berupa riprap batu berbentuk U yang diletakkan di kaki ambang hilir dan tembok sayap kanan-kiri, masing-masing sepanjang 5 m dengan material batuan  $\geq 0,4$  meter. Pada alternatif ini tidak digunakan ambang balok yang membatasi riprap dengan tanah asli sehingga riprap langsung berbatasan dengan tanah asli tanpa ada penghalang (Gambar 12).



**Gambar 9** Pola gerusan dengan  $Q_{100th}$  dengan kondisi eksisting tanpa perkuatan hilir, a) tampak atas, b) potongan melintang di kedalaman tertinggi



**Gambar 10** Alternatif 1 pengamanan hilir bendung dengan riprap blok beton



**Gambar 11** Alternatif 2 pengamanan hilir bendung dengan riprap batu

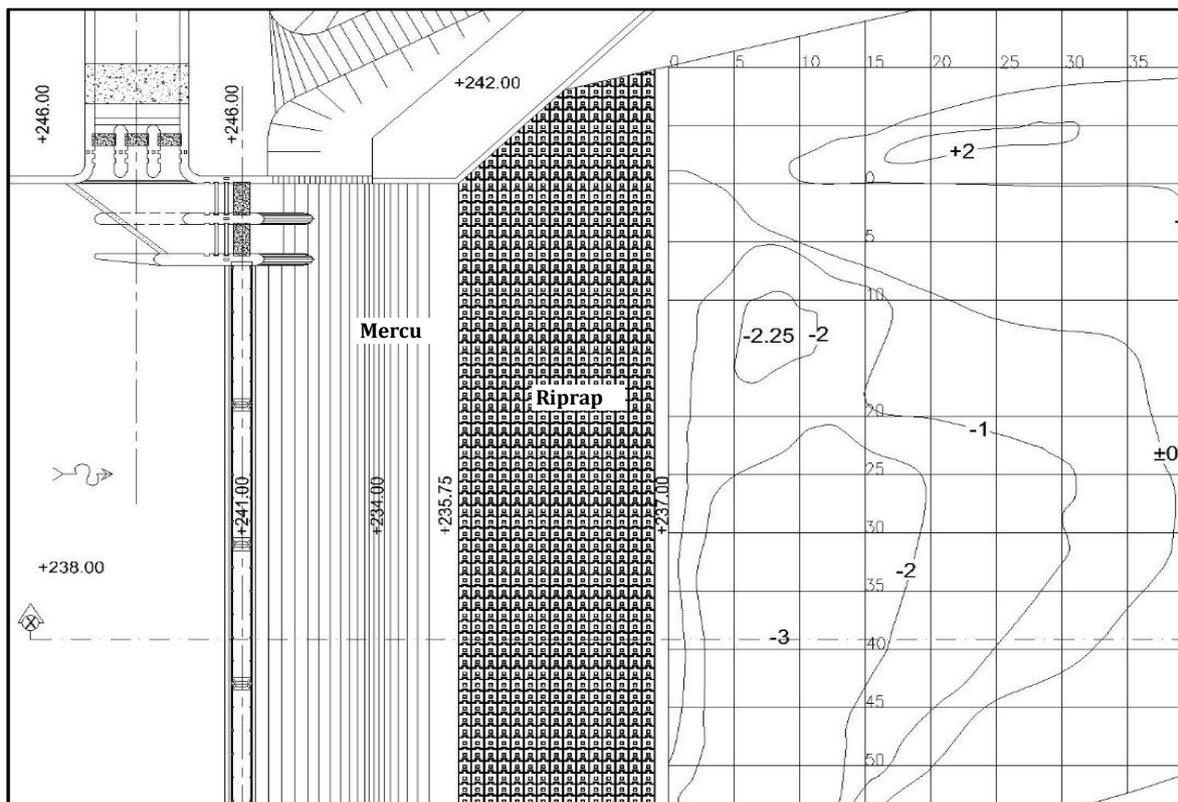


**Gambar 12** Alternatif 3 pengamanan hilir bendung dengan riprap batu berbentuk U

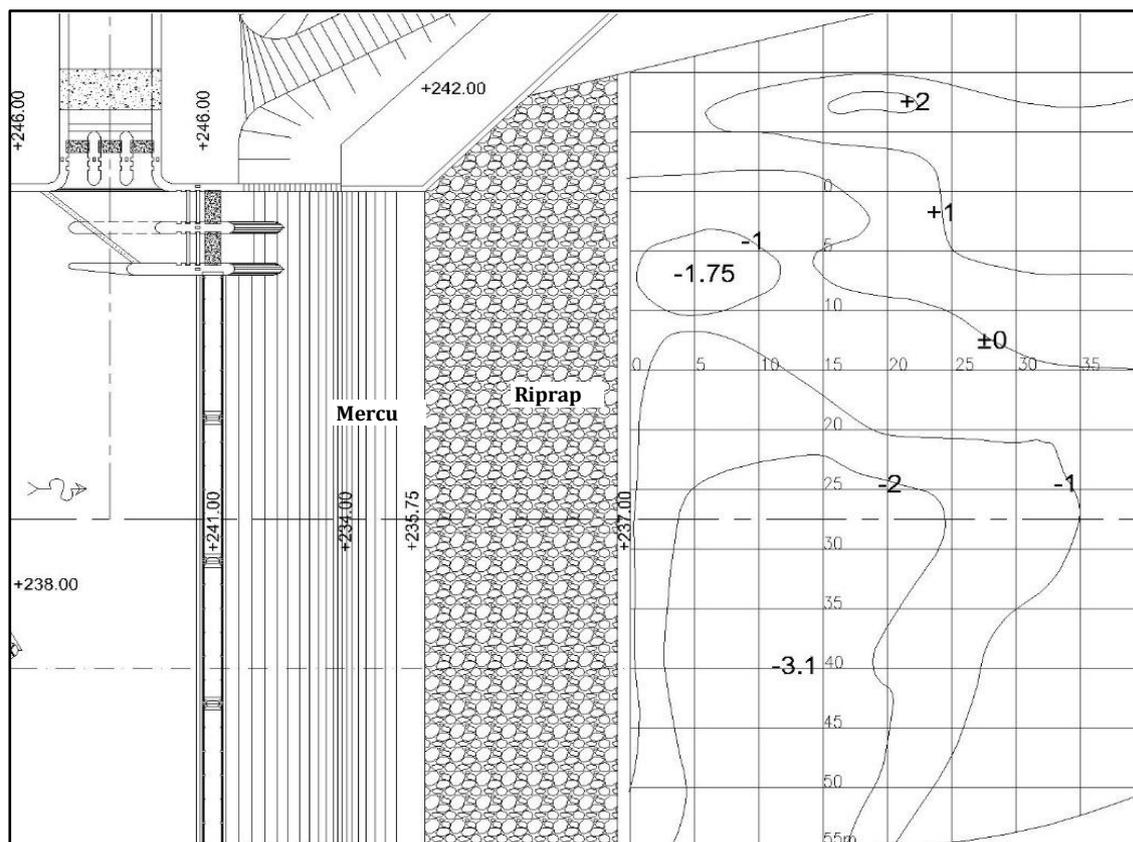
Berdasarkan hasil pengamatan, seiring berjalannya waktu pengaliran maka hasil gerusan yang terjadi bervariasi dan cenderung mulai terjadi pada sisi kanan sayap hilir bendung kemudian berkembang sepanjang aliran hingga mencapai dimensi tertentu. Dimensi lubang gerusan yang terjadi bervariasi pada setiap kondisi, hal ini berkaitan dengan kekuatan dan efektivitas peredaman energi yang terjadi. Pada semua variasi pengaliran debit, terjadi loncatan air yang cukup tinggi di atas dan hilir peredam energi. Pola gerusan pada ketiga alternatif dapat dilihat pada Gambar 13 sampai Gambar 15. Lokasi gerusan terdalam yang terjadi pada ketiga alternatif tersebut berada di tengah dan cenderung ke arah sayap kanan bendung. Hal ini disebabkan oleh kecepatan aliran yang tinggi dan distribusi aliran yang tidak merata. Pola gerusan pada alternatif 1 (Gambar 13), menunjukkan bahwa pengaliran debit  $Q_{100th}$

telah mengakibatkan terjadinya lubang gerusan sepanjang 33,6 meter dengan kedalaman maksimal 3 meter diukur dari datum +235,75 m (elevasi ambang hilir). Lubang gerusan ini terkonsentrasi di tengah sampai dinding sayap kanan sebagai akibat kecepatan tinggi dari aliran.

Pola gerusan pada alternatif 2 (Gambar 14) menunjukkan bahwa pengaliran debit  $Q_{100th}$  mengakibatkan terjadinya gerusan di kaki tembok sayap kanan dengan kedalaman maksimum sebesar 3,1 meter dan panjang melintang gerusan sebesar 34,5 meter. Pola gerusan pada alternatif 3 (Gambar 15) menunjukkan bahwa pengaliran debit  $Q_{100th}$  mengakibatkan terjadinya gerusan dengan kedalaman 1,75 m dan panjang melintang gerusan sebesar 44,72 meter. Perbandingan kedalaman dan panjang gerusan pada ketiga alternatif dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 13 Pola gerusan dengan  $Q_{100th}$  pada kondisi alternatif 1



Gambar 14 Pola gerusan dengan  $Q_{100th}$  pada kondisi alternatif 2



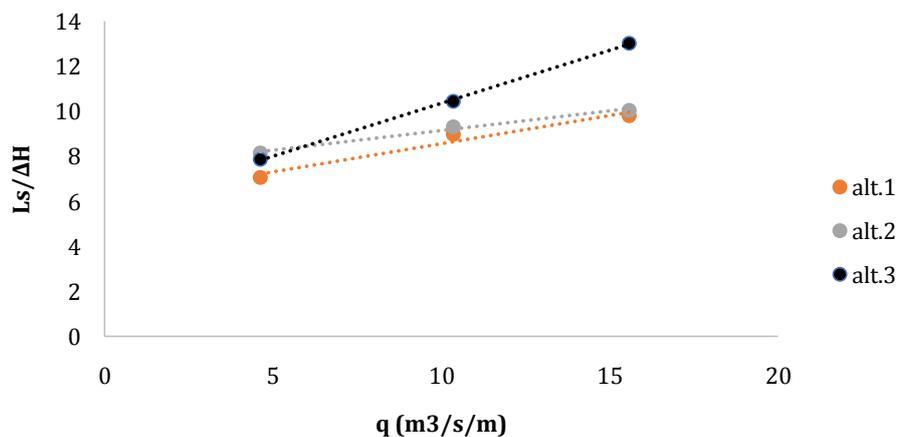
Dari hasil pengujian (Gambar 16), terlihat bahwa penempatan riprap yang dipasang ambang (Alternatif 1 dan 2) justru mempunyai pusat gerusan yang lebih dalam dibandingkan dengan penempatan riprap yang tidak menggunakan ambang diujungnya (Alternatif 3). Ambang balok yang dipasang diujung riprap untuk memisahkan riprap dengan tanah asli cukup mengganggu kinerja dari peredam energi tipe cekung yang menyebabkan loncatan hidraulik yang lebih tinggi dan pusaran balik di hilir peredam energi terhalang sehingga mengakibatkan terjadinya gerusan yang lebih dalam di hilir riprap. Berdasarkan hal tersebut, alternatif 3 yang tidak menggunakan ambang di akhirriprap memberikan efek peredaman energi yang lebih baik dengan kedalaman gerusan maksimum yang lebih kecil dibanding alternatif 1 dan alternatif 2.

**Korelasi Parameter Hidraulik**

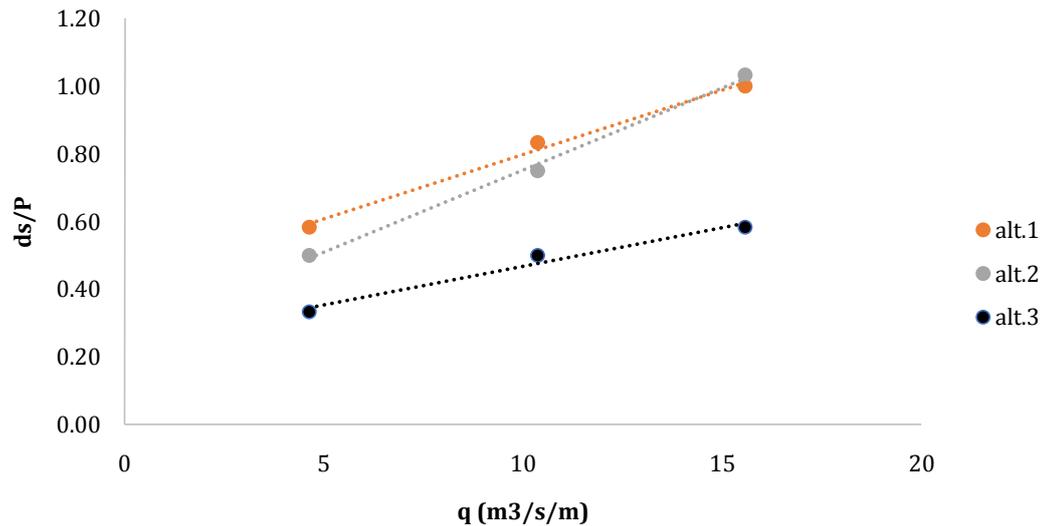
Untuk mengetahui efektifitas dari masing-masing alternatif, maka dapat kita korelasikan parameter-parameter hidraulik yang ada berdasarkan hasil uji model fisik di laboratorium. Parameter gerusan yang diamati meliputi kedalaman debit per satuan lebar ( $q$ ), gerusan ( $d_s$ ), panjang gerusan ( $L_s$ ), dan peredaman energi ( $\Delta H$ ). Interaksi yang terjadi antara tiap parameter dapat memberikan wawasan tentang bagaimana proses gerusan yang terjadi di hilir bendung. Perbandingan gerusan pada masing-masing alternatif dapat dilihat pada Gambar 16. Berdasarkan komparasi gerusan yang ditunjukkan pada Gambar 16 dapat disimpulkan bahwa lubang gerusan terdalam dihasilkan pada alternatif 2 sedangkan yang terdangkal dihasilkan pada

alternatif 3. Lubang gerusan yang paling panjang dihasilkan pada alternatif 3, sedangkan lubang gerusan yang terpendek dihasilkan pada alternatif 1. Kemudian berdasarkan hasil pengujian, maka ditentukan rasio panjang gerusan dan tinggi energi masing-masing alternatif, kemudian diplotkan dengan parameter debit per satuan lebar yang digunakan dalam pengujian model fisik.

Hasil yang didapatkan menunjukkan adanya kenaikan besaran ratio panjang dan tinggi energi dari gerusan seiring adanya kenaikan besaran debit. Dalam hal ini, alternatif 1 memberikan rasio panjang lubang gerusan dan tinggi energi ( $L_s/\Delta h$ ) yang paling optimal pada ketiga kondisi pengaliran (debit rendah, sedang, tinggi). Ratio pada kondisi debit rendah ( $Q_{2thn}$ ) sebesar 7,06, pada debit sedang ( $Q_{20thn}$ ) sebesar 8,98, dan pada debit tinggi ( $Q_{100thn}$ ) sebesar 9,81. Korelasi dari parameter-parameter ini dapat dilihat pada Gambar 17. Untuk korelasi antara debit per satuan lebar ( $q$ ) dengan rasio kedalaman gerusan dan tinggi ambang ( $d_s/P$ ), dapat dilihat pada Gambar 18. Dari hasil pengujian gerusan didapatkan bahwa kenaikan ratio kedalaman gerusan dengan tinggi ambang berbanding lurus dengan kenaikan debit per satuan lebar. Dalam hal ini, alternatif 3 memberikan rasio kedalaman gerusan dan tinggi ambang ( $d_s/P$ ) yang paling rendah diantara ketiga alternatif pengaliran pada kondisi debit rendah, sedang, tinggi. Ratio kedalaman gerusan dan tinggi ambang ( $d_s/P$ ) pada kondisi debit rendah ( $Q_{2thn}$ ) sebesar 0,33, pada debit sedang ( $Q_{20thn}$ ) sebesar 0,50, dan pada debit tinggi ( $Q_{100thn}$ ) sebesar 0,58. Korelasi dari parameter-parameter ini dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 17 Hubungan interaksi  $q$  dan  $L_s/\Delta H$



**Gambar 18** Hubungan interaksi  $q$  dan  $d_s/P$

Berdasarkan hal tersebut, alternatif 3 merupakan alternatif yang paling optimal diantara ketiga alternatif yang ada karena memberikan kedalaman maksimal gerusan yang paling rendah sehingga lebih aman bagi struktur bendung. Selain itu, material riprap batu merupakan pilihan yang sesuai karena material batu mudah didapatkan di lapangan sedangkan blok beton membutuhkan waktu dan biaya yang lebih besar.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Gerusan lokal di hilir bendung dengan kedalaman maksimum 3,5 meter akan terjadi jika bagian hilir dari Bendung Rengrang tidak di proteksi dengan perkuatan riprap.
2. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, didapatkan korelasi yang kuat antara rasio panjang lubang gerusan dan tinggi energi redaman dengan debit aliran ( $L_s/\Delta h$ ) dengan debit per satuan lebar ( $q$ ), dimana semakin besar debit yang terjadi maka rasio panjang lubang gerusan dan tinggi redaman energi akan semakin besar. Selain itu, didapatkan pula korelasi yang kuat antara rasio kedalaman lubang gerusan dan tinggi ambang ( $d_s/P$ ) dengan debit per satuan lebar ( $q$ ), dimana semakin besar debit yang terjadi maka rasio kedalaman dan tinggi ambang akan semakin besar.
3. Perkuatan hilir dengan pemasangan ambang balok di hilir riprap tidak

direkomendasikan karena dapat mengganggu kinerja peredam energi yang ada.

4. Perkuatan dengan riprap yang tersusun dari blok beton (alternatif 1) efektif untuk mengurangi panjang lubang gerusan ( $L_s$ ) namun kedalaman gerusan ( $d_s$ ) yang terjadi cukup tinggi, sedangkan perkuatan riprap batu dengan konfigurasi membentuk huruf U (alternatif 3) efektif untuk mengurangi kedalaman gerusan ( $d_s$ ) namun panjang lubang gerusan ( $L_s$ ) cukup tinggi.
5. Alternatif 3 dengan perkuatan hilir dengan riprap batu dengan konfigurasi berbentuk huruf U selebar 5 meter dari sayap kiri ke sayap kanan merupakan alternatif yang paling optimum (gerusan terdalam  $\pm 1,75$  meter). Hal ini dipilih dengan pertimbangan dampak kedalaman gerusan paling kecil, ekonomis, dan ketersediaan material yang mudah didapatkan di lapangan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tulisan ini diantaranya Balai Litbang BHGK Puslitbang SDA dan BBWS Cimanuk Cisanggarung. Terutama kepada Ir. Yiniarti Eka Kumala, Dipl.HE atas bimbingan dan masukannya yang berharga. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi para pengelola bendung, akademisi, dan masyarakat pada umumnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrosyid, Jaji. 2005. Gerusan di Hilir Kolam Olak Bendung, Jurnal Dinamika Teknik Sipil, Volume 5, Nomor 2, Hal 73-79, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Amin, A M A. 2015. *Physical Model Study For Mitigating Local Scour Downstream Of Clear Over-Fall Weirs*. Ain Shams Engineering Journal. Page 1143 – 1150. Ain Shams University. Mesir.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). SNI 03-7043-2004 Tata Cara Desain Hidraulik Tubuh Bendung Tetap Dengan Peredam Energi Tipe MDL. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- BBWS Cimanuk Cisanggarung. 2013. Review *Detailed Engineering Design (DED)* Bendung Rengrang. Kementerian Pekerjaan Umum, Cirebon.
- Breusers, H.N.C. and Raudkivi, A.J. 1991. Scouring. IAHR Hydraulic Structure Design Manual, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Christine, M. dan Robby Y T. 2003. Penggerusan Sedimen di Dasar Sungai Bagian Hilir Kolam Olak Suatu Bendung Tertentu. Jurnal Teknik Sipil. Volume 1, Nomor 1. Oktober 2003. Universitas Kristen Maranatha. Bandung.
- Hoffmans, G.J.C.M. and Verheij. 1997. *ScourManual*, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. Pengembangan dan Pengelolaan Irigasi. Rakornas Pertanian. Jakarta
- Legono, D. 1990. Gerusan pada Bangunan Sungai, PAU Ilmu-Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Lenzi, M. A. et al. 2003. *Interference processes on scouring at bed sills, Earth Surface Processes and Landforms*, 28(1), 99-110.
- Melville, B.W. 2015. *Scour at various hydraulic structures : Sluices gates, submerged bridges, low weirs*. Proceeding of the 7th International Conference on Scour and Erosion. CRC Press. Perth, Australia.
- Ota, K and Sato, T. 2015. *Experimental and numerical study of the local scour caused by sediment releasing through a dam gate*. Journal of JSCE. Vol3, 184-190.
- Pilarczyk, K.W. 2012. *Impact of the Delta Works in the Recent Developments in Coastal Engineering*. Coastal and Ocean Engineering Practice. World Scientific. California State University. Los Angeles, USA.
- Pusdata. 2015. Buku Informasi Statistik Pekerjaan Umum. Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Pusair. 2015. Laporan Model Test Bendung Rengrang. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung.
- Raudkivi, A.J. and Ettema, R. 1983. *Clear-Water Scour at Cylindrical Piers*. Journal of HydraulicEngineering, Vol 109, No. 3, Am. Soc. Civ. Engrs., pp. 338-350.
- Rahmadani, S. 2014. Mekanisme Gerusan Lokal Dengan Variasi Bentuk Pilar (Eksperimen). Jurnal Teknik Sipil USU, 202.0.107.5
- Simon, D. dan Sentruk F. 1992. *Sediment Transport Technology: Water and Sediment Dynamic, Water Resources Pubns*, New York.
- Wisafri. 2014. Pengendalian gerusan lokal yang terjadi di hilir bendung dan pengendaliannya. Jurnal Poli Rekayasa. Vol 9,no 2.
- Yulistiyanto, B. 2009. *Local Scour Downstream of a Weir with Various Types of Stilling Basin. Proc.*, International Conference on Sustainable Development for Water and Wastewater Treatment, Muwarek, 14-15 December 2009, Yogyakarta.
- Yulistiyanto, B. 2010. Gerusan Lokal di Hilir Dua Mercu Bendung. Jurnal Dinamika Teknik Sipil, Volume 10, Nomor 2, Hal 102-107, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.