

EKSPERIMEN LABORATORIUM: KAJIAN EFEKTIFITAS RING NET BARRIER DALAM PENGENDALIAN SEDIMEN

Chitra Widyasani Surya Putri* dan Ardian Alfianto

Balai Pelaksana Penyediaan Perumahan Jawa III,
Direktorat Jenderal Perumahan, Kementerian PUPR, Yogyakarta
*chitrawsp@pu.go.id

Pemasukan: 11 April 2021 Perbaikan: 12 Mei 2021 Diterima: 27 Mei 2021

Intisari

Pada tahun 2018, Balai Litbang Sabo menerapkan *pilot project ring net barrier* di Kabupaten Lumajang, Jawa Timur dengan basal opening 0,7 m untuk mengetahui kinerjanya sebagai pengendali sedimen. Namun pengamatan pada awal bangunan ini difungsikan menunjukkan sedimen yang terperangkap setelah adanya aliran debris sangat sedikit. Hal ini menimbulkan pertanyaan terkait kinerja ring net sebagai flexible barrier dibandingkan dengan rigid barrier, serta posisi basal opening eksisting dibandingkan dengan rata dasar saluran dan ditanam dengan kedalaman tertentu. Suatu kajian dilakukan dengan metode pendekatan eksperimen laboratorium hidraulika diharapkan dapat menjawab kinerja *ring barrier net*. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan unjuk kerja antara sabo dam tipe tertutup, tipe slit, dan ring net barrier dari volume sedimen tertahan serta perubahan elevasi di hulu dan hilir bangunan melalui uji model hidraulik-fisik, dengan skala 1:60, konsentrasi sedimen 10% dan variasi debit 11 l/s, 8 l/s dan 5,2 l/s. Hasil pengujian menunjukkan sabo dam tipe tertutup menahan sedimen lebih banyak dibandingkan sabo dam tipe slit dengan persentase perbedaan tertinggi pada debit 5,2 l/s (33%). Sedangkan sabo dam tipe slit memiliki kemampuan menahan sedimen lebih banyak dibandingkan *ring net barrier* dengan persentase perbandingan terbesar pada pengujian dengan debit 8 l/s (85%). Hasil pengujian ini dapat dijadikan gambaran kondisi sedimen di hulu dan di hilir masing-masing bangunan sabo, namun untuk diinterpretasikan pada prototipe masih memerlukan penyempurnaan.

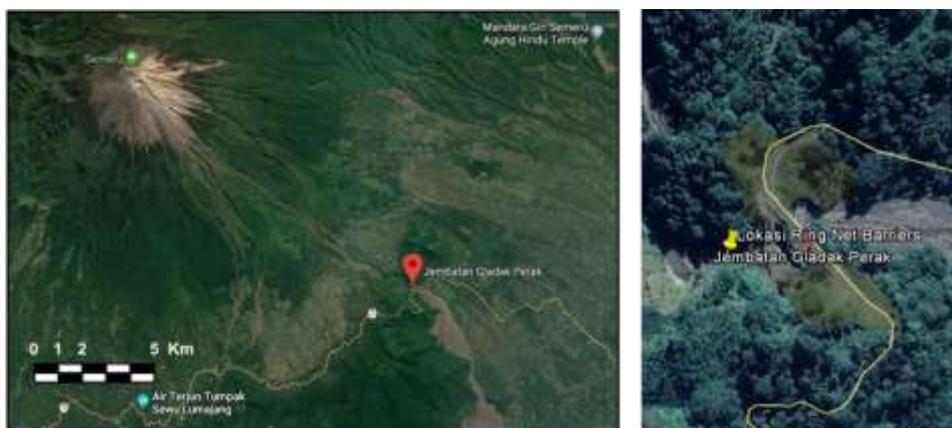
Kata Kunci : Sabo dam, *ring net barrier*, uji model hidraulik, volume sedimen

Latar Belakang

Mitigasi terhadap ancaman bencana debris secara struktural sejauh ini dilakukan dengan membangun sabo dam. Pada umumnya sabo dam yang selama ini diterapkan sebagai pengendali daya rusak aliran debris adalah bangunan yang terbuat dari beton masif yang kaku (*rigid*). Sementara itu di beberapa negara seperti Switzerland, Hongkong, Italia dan lain-lain telah mulai mengembangkan studi terkait struktur fleksibel sebagai proteksi terhadap aliran debris (Wendeler dkk., 2015; Yung dkk., 2017; Vagnon dkk., 2015). Berdasarkan pada hal tersebut, sebuah terobosan dalam mitigasi bencana debris dilakukan oleh melalui penerapan teknologi terbatas (*pilot project*) *ring net barrier* di Kabupaten Lumajang, Jawa

Timur (Balai Litbang Sabo (2018). Tujuan penerapan ini adalah untuk mengetahui bagaimana kinerja *ring net barrier* dalam menahan aliran debris, sehingga hasilnya dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan teknologi tersebut lebih lanjut. Teknologi *ring net barrier* diterapkan oleh Balai Litbang Sabo pada koordinat $8^{\circ}10'53.93''\text{S}$ dan $113^{\circ}1'6.66''\text{E}$ yang terletak di hulu Jembatan Gladak Perak, Sungai Leprak, Sumberwuluh, Candipuro, Kabupaten Lumajang, Jawa Timur (Gambar 1). Lokasi ini dipilih karena merupakan jalur aliran material dari Gunung Semeru yang sampai saat ini masih aktif. Gunung Semeru masih sering mengeluarkan material vulkanik yang kemudian mengalir ke wilayah yang lebih rendah melalui aliran sungai (Balai Litbang Sabo, 2018). Selain itu, lebar sungai pada lokasi penerapan memiliki kesesuaian dengan kriteria lokasi penerapan *ring net barrier* tipe VX, yaitu 15-20 meter dengan tebing yang terdiri dari batuan keras. Hilir jembatan Gladak Perak adalah lokasi penambangan bahan galian C, sehingga dapat bersinergi dengan salah satu kelebihan *ring net barrier*, yaitu apabila sedimen yang tertahan sudah penuh, jaringnya dapat dibuka sehingga sedimen dapat dialirkan ke hilir dan dapat ditambang untuk menjaga keseimbangan sedimen.

Kajian terhadap penggunaan *sabo dam* untuk mengendalikan laju aliran debris di wilayah Gunung Semeru telah dilakukan oleh Yachiyo Engineering pada tahun 1996/1997. Selama ini *sabo dam* konvensional telah digunakan dalam upaya tersebut. Namun penggunaan *sabo dam* konvensional memiliki beberapa permasalahan, utamanya adalah erosi pada dasar sungai. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka diterapkanlah *pilot project ring net barrier* di Hulu Jembatan Gladak Perak. Lokasi ini juga merupakan daerah yang cukup sering dikunjungi oleh masyarakat karena pemandangannya yang menarik. Oleh karena itu, pemilihan lokasi ini diharapkan sekaligus dapat menjadi media edukasi bagi masyarakat yang lewat dan berkunjung di daerah tersebut. Berdasarkan fenomena tersebut, muncul beberapa pertanyaan, antara lain bagaimana kondisi sedimen di hulu dan hilir bangunan jika yang diterapkan pada lokasi tersebut adalah *sabo dam* tipe tertutup, *sabo dam* tipe slit, atau *ring net barrier*. Untuk itu suatu kajian efektifitas bangunan pengendali sedimen berupa *sabo dam* dilakukan melalui eksperimen di laboratorium yang ditujukan untuk mengetahui perbandingan unjuk kerja *sabo dam* tipe tertutup, tipe slit, dan *ring net barrier*.



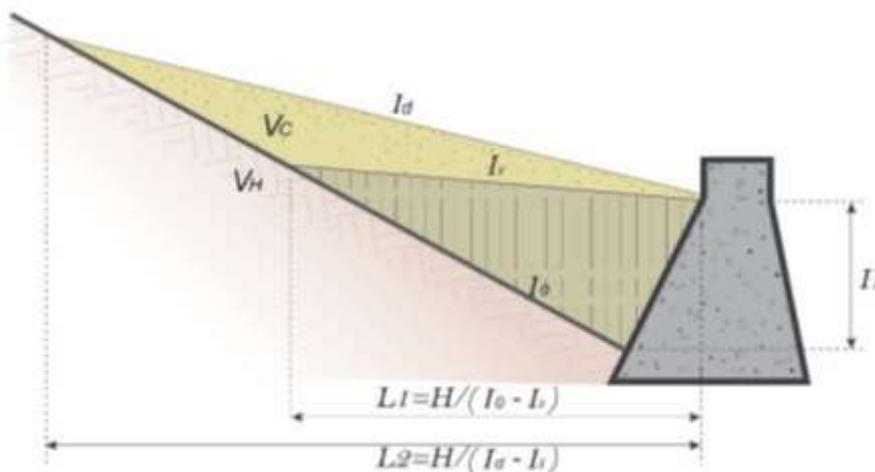
Gambar 1. Lokasi *ring net barrier* di Sungai Leprak, Lumajang, Jawa Timur

Metodologi

Metodologi pelaksanaan kajian dilakukan dengan meninjau efektifitas bangunan pengendali sedimen melalui pengujian model fisik di laboratorium menggunakan kaedah-kaedah model fisik hidraulik. Sabodam berfungsi sebagai sediment blocker, akumulator, dan pengontrol sedimen. Dalam suatu seri, sabodam menciptakan kemiringan yang baru, yang dapat menurunkan kecepatan aliran sehingga terjadi endapan material di hulu struktur tersebut (Wisoyo, 2012).

a). Efektivitas Bangunan Sabo

Efektifitas bangunan pengendali sedimen merupakan kemampuan bangunan dalam menampung atau menahan sedimen sampai dengan volume tertentu. Perhitungan volume yang tertahan oleh sabodam dilakukan dengan mempertimbangkan prinsip keseimbangan sedimen seperti disketsakan pada Gambar 2 (Bawias, 2012):



Gambar 2. Keseimbangan sedimen pada sungai (Bawias,2012).

Secara empirik imbangan sedimen dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$V_E = V_S - (V_H + V_C + V_{ds}) \tag{1}$$

dengan:

- V_E = Volume sedimen yang melimpas dari *sabo dam* (m^3)
- V_S = Volume sedimen yang masuk di hulu *sabo dam* (m^3)
- V_H = Volume sedimen yang tertahan di hulu *sabo dam* (m^3)
- V_C = Volume kontrol di hulu *sabo dam* (m^3)
- V_{ds} = Volume tampungan mati dari *sabo dam* (m^3)

Perkiraan volume kontrol sedimen pada suatu bangunan sabo dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$V_C = V_{total} - V_{ds} \tag{2}$$

V_{total} dihitung dengan persamaan:

$$V_{total} = (A_1 + A_2)B \tag{3}$$

A_1 dan A_2 merupakan luas area di hulu bangunan, yang dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$A_1 = \frac{1}{2}HL_1 \tag{4}$$

$$A_2 = \frac{1}{2}HL_2 - A_1 \tag{5}$$

Volume tampungan mati (V_{ds}) merupakan jumlah sedimen yang terangkut dan ditahan oleh bangunan sabo, secara empirik dapat dihitung menggunakan Persamaan (6) sebagai berikut:

$$V_{ds} = \frac{1}{2}HBL_1 \tag{6}$$

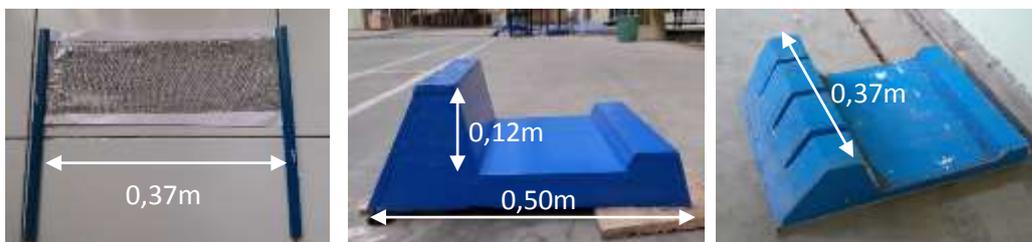
$$L_1 = \frac{H}{I_0 - I_s} \tag{7}$$

$$L_2 = \frac{H}{I_0 - I_d} \tag{8}$$

dengan L adalah jarak horizontal (m), B merupakan lebar sungai (m), H merupakan ketinggian struktur bangunan (m), I_0 merupakan kemiringan dasar sungai, I_s kemiringan statis ($\frac{1}{2}I_0$) dan I_d merupakan kemiringan dinamik ($\frac{2}{3}I_0 - \frac{3}{4}I_0$). Sedangkan volume tertahan (V_H) merupakan jumlah sedimen yang ditahan oleh bangunan sabo, baik di dasar maupun di tebing sungai yang diperkirakan akan terangkut ke hilir jika tidak ada *sabo dam*.

b). Model fisik bangunan pengendali sedimen

Bangunan pengendali sedimen yang dimodelkan terdiri dari bangunan sabo dam konvensional tipe tertutup, tipe terbuka, dan *ring net barrier*. Model bangunan sabo dam konvensional dibuat dari kayu, sedangkan model *ring net barriers* yang digunakan dibuat dengan merangkai besi berbentuk lingkaran dengan diameter 0,6 cm, dijalin hingga berbentuk segiempat dengan dimensi sesuai dengan skala yang digunakan (Gambar 3). Kedua sisi model dijepit dengan besi penjepit sebelum dipasang pada flume. Adapun posisi basal opening yang digunakan dalam pengujian adalah rata dengan permukaan sungai agar elevasi atas *ring net barrier* sama dengan elevasi mercu sabo dam konvensional. Model sungai yang digunakan di penelitian ini adalah saluran terbuka di laboratorium hidraulik Balai Litbang Sabo (lihat Gambar 4), sedangkan penempatan model bangunan pengendali sedimen di model sungai ditunjukkan pada Gambar 5.



a). *Ring net barrier*

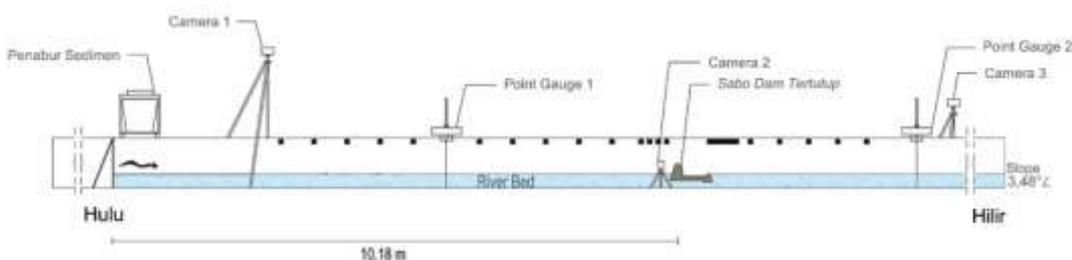
b). Sabo dam tipe tertutup

c). Sabo dam tipe *slit*

Gambar 3. Model bangunan pengendali sedimen



Gambar 4. Foto model eksperimen laboratorium hidraulika



Gambar 5. Sketsa model eksperimen laboratorium hidraulika

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, ditentukan skala model yang digunakan adalah 1:60, hal ini disesuaikan dengan kapasitas pompa dari *hydraulic experiment flume* eksisting yang mampu mengalirkan debit hingga 0,039 m³/s. Pada uji model ini, parameter yang diskalakan adalah geometri *ring net barrier* dan debit. Sedangkan untuk model sungai hanya lebar dan kemiringan saja yang disesuaikan dengan kondisi lapangan (3,48°). Ketebalan sedimen yang menjadi dasar sungai berkisar antara 12 hingga 16 cm. Debit prototip maksimum yang dimodelkan pada pengujian adalah Q₁₀₀, yaitu sebesar 308,66 m³/s, setara dengan debit di eksperimen laboratorium sebesar 11 l/s (lihat Tabel 1).

Tabel 1. Parameter pengujian dan besarnya

Parameter	Satuan	Prototip (m)	Model (m)
Lebar Sungai	m	22	0,37
Kedalaman Sungai	m	7,8	0,13
Lebar Bangunan	m	22	0,37
Tinggi Bangunan	m	7,2	0,12
Debit (Q ₁₀₀)	m ³ /s	308,66	0,011
Debit setelah banjir	m ³ /s	145	0,0052

Skenario pengujian didasarkan pada tiga aliran dengan debit yang berbeda, yaitu sebesar 11 l/s, 8 l/s dan 5,2 l/s. Pemilihan debit ini didasarkan pada kapasitas pompa yang dapat disediakan oleh sistem pengaliran yang tersedia di laboratorium. Nilai kemiringan memanjang sungai dan konsentrasi sedimen dalam aliran adalah sama untuk seluruh eksperimen, yaitu $3,48^0$ dan 10%.

Hasil dan Pembahasan

Pengujian terhadap *ring net barrier* dilakukan dengan simulasi debit aliran debris 11 l/s dan 8 l/s. Selain itu dilakukan pula pengujian dengan debit 5,2 l/s tanpa sedimen untuk mengetahui bagaimana sedimen terbilas oleh banjir. Model *ring net barrier* diuji pada 3 posisi, yaitu rata dengan dasar saluran, ditanam 1,66 cm serta ditanam 3,2 cm (diukur dari dasar *ring net barrier*). Hal ini dilakukan untuk mengetahui efek kedalaman terhadap gerusan di hilir. Ketiga posisi ini diuji dengan menggunakan debit aliran debris seperti yang disebutkan sebelumnya. Analisis penelitian dibedakan menjadi beberapa pokok bahasan, antara lain konfigurasi sedimen yang tertahan di hulu bangunan pengendali sedimen, baik yang konvensional ataupun yang *ring net barrier*. Selanjutnya pembahasan dilakukan dengan cara membandingkan efektifitas antara *ring net barrier* dibanding dengan bangunan sabo konvensional. Analisis terhadap *ring net barrier*, sabo dam tipe tertutup, serta sabo dam tipe slit dengan variasi debit 11 l/s, 8 l/s, serta 5,2 l/s menunjukkan adanya perbedaan elevasi sedimen di hulu sabo dam. Pada Gambar 6 disajikan foto yang menunjukkan kondisi sedimen yang terperangkap pada salah eksperimen laboratorium.

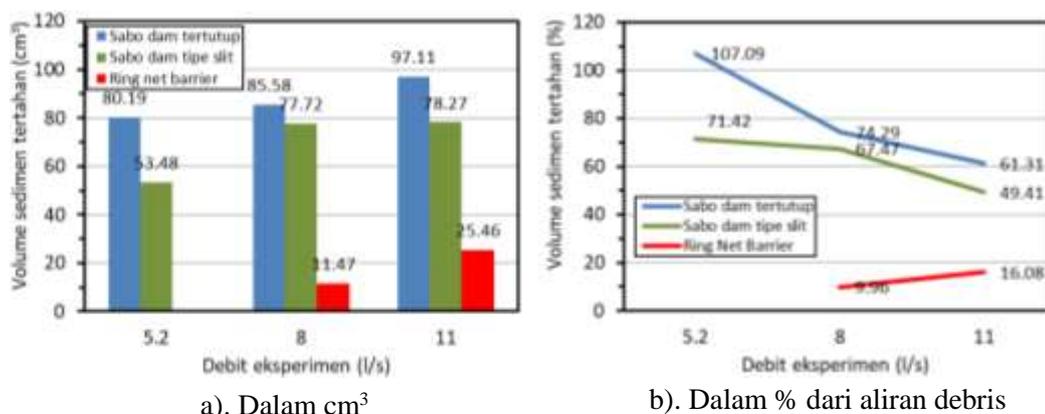


Gambar 6. Foto sedimen yang terperangkap di sebelah hulu bangunan sabo

Hasil perhitungan persentase volume sedimen yang tertahan di hulu bangunan pengendali sedimen untuk ketiga jenis bangunan disajikan pada Gambar 7. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar debit aliran debris persentase sedimen yang tertahan justru semakin kecil. Hal ini disebabkan karena pada saat pengujian, campuran sedimen dan air yang digunakan untuk menyimulasikan aliran

debris tidak dapat benar-benar menyatu, sehingga komposisi *bed load* menjadi dominan. Pada *sabo dam* tipe tertutup dan tipe slit, ketika dialiri debit yang besar, terjadi olakan air yang membawa partikel sedimen melewati mercu dam sehingga tampungan di hulu bangunan tidak cepat penuh (Takahara dkk., 2008; Takano dkk., 2016).

Semakin kecil debit yang terjadi, semakin memberikan waktu untuk terjadinya *interlocking* butiran sedimen sehingga yang diloloskan melalui slit hanya air saja. Apabila kapasitas tersebut berkurang karena sudah terisi endapan sedimen, bangunan sabo tidak dapat menahan sedimen yang cukup untuk mengurangi laju aliran debris. *Sabo dam* tipe slit dapat mempertahankan kapasitas tampungannya karena memiliki drainase yang dapat memisahkan butiran sedimen dan air pada dalam periode tertentu (Itoh dkk., 2011).



Gambar 7. Volume sedimen tertahan di sebelah hulu bangunan

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sabo dam mempunyai kemampuan menahan sedimen relatif lebih banyak daripada sabodam tipe terbuka. Hal ini terjadi karena butiran sedimen, baik yang halus maupun kasar, mayoritas tertahan oleh sabo dam tipe tertutup. Sedangkan untuk sabodam tipe slit, sedimen yang tertahan di hulu sabo dam adalah sedimen dengan butiran besar. Pada percobaan dengan model sabo dam tipe slit, air dan sedimen halus masih bisa mengalir melalui slit. Yang tertahan oleh slit adalah sedimen dengan diameter lebih besar dari lebar slit. Akan tetapi meskipun perhitungan terhadap gradasi butiran sedimen telah dilakukan, pada kenyataannya masih terdapat sedimen dengan diameter butiran yang jauh lebih besar dari lebar slit, sehingga menyebabkan butiran tersebut terkunci pada slit dan mengakibatkan fungsi sediment trap capacity sabo dam slit tersebut menjadi seperti sabo dam tipe tertutup (Shrestha dkk., 2008).

Setelah sedimen dengan butiran besar disingkirkan dari slit, aliran air dan sedimen halus dapat kembali dilepaskan ketika banjir selanjutnya terjadi. Pada percobaan dengan model ring net barrier, volume sedimen yang tertahan di hulu bangunan tidak sebanyak sabo dam konvensional, hal ini disebabkan oleh posisi basal opening yang rata dengan permukaan dasar sungai sehingga pada saat pengaliran, sebagian sedimen ada yang lolos melalui bagian bawah *ring net* (Silva dkk., 2016). Hal ini menggambarkan bahwa ring net relatif lebih aman dari gerusan yang terjadi di hilir

bangunan. Selain lebih sedikit gerusan di hilir bangunan, pengikisan dasar sungai juga bisa terjadi di hulu bangunan. Hal ini nampak pada hasil pengujian pada debit 5,2 l/s sabo dam tipe tertutup, dimana volume sedimen di hulu bangunan sabo lebih besar dari volume sedimen yang masuk.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Debit dan ukuran butiran sedimen mempengaruhi volume sedimen yang tertahan di hulu sabo dam dan *ring net barrier*. Pada penelitian ini, ukuran butiran sedimen yang digunakan dalam model bervariasi, sehingga pada pengujian dengan debit kecil, kesempatan terjadinya *interlocking* semakin besar, sehingga meningkatkan volume sedimen tertahan.
2. Pengujian ini tidak menggunakan *sediment feeder*, tetapi sedimen hanya dialirkan satu kali saja. Hal ini menyebabkan masih terjadinya gerusan di hilir *ring net barrier*, meskipun kekakuannya telah ditambah dengan ditanam dan piping telah diminimalisir.
3. Sabo dam tipe tertutup dapat menahan sedimen 19%, 9% dan 33% lebih banyak daripada sabo dam tipe slit, berturut-turut untuk debit aliran sebesar 11 l/s, 8 l/s, dan 5,2 l/s. Sedangkan dam tipe slit menahan sedimen 67% dan 85% lebih banyak daripada ring net barrier, berturut-turut untuk debit aliran sebesar 11 l/s dan 8 l/s.

Saran

Untuk penelitian yang akan datang, mengingat banyaknya parameter yang terkait dengan perancangan dan kinerja *ring net barrier*, agar mendapatkan hasil yang lebih baik maka parameter yang digunakan harus dilengkapi agar hasilnya dapat diinterpretasikan pada prototipe. Pembuatan model sedimen akan lebih akurat jika analisis gradasi butiran dikombinasikan dengan hasil analisis fotogrametri terhadap sedimen di lapangan. Permodelan aliran debris pada pengujian ini menghasilkan campuran air dan sedimen yang kurang sempurna, sehingga disarankan untuk menggunakan material dengan campuran yang lebih sempurna. Pada penelitian yang akan datang, sebaiknya suplai sedimen dari hulu dilakukan secara kontinu selama durasi pengaliran debris.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atas ijin yang diberikan sehingga penulis dapat melanjutkan studi lanjutan di Universitas Gadjah Mada, serta kepada Balai Litbang Sabo atas segala fasilitas yang diberikan selama penulis mengerjakan eksperimen laboratorium.

Daftar Referensi

- Balai Litbang Sabo, 2018. *Teknologi Ring Net Barriers untuk Pengendalian Aliran Debris*. Yogyakarta.
- Bawias, Y. A., 2012. Effect of Sand Mining Activity on the Sediment Control System (a Case Study of Sombe-Lewara River, Donggala, Indonesia). *Journal of the Civil Engineering Forum*, 21(1).
<https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.041>
- Itoh, T., Horiuchi, S., Akanuma, J., Kaitsuka, K., Kuraoka, S., Morita, T., Sugiyama, M. & Mizuyama, T., 2011. Fundamental Hydraulic Flume Test Focused on Sediment Control Function Using A Grid-Type High Dam. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*.
<https://doi.org/10.4408/IJEGE.2011-03.B-114>
- Shrestha, B. B., Nakagawa, H., Kawaike, K. & Baba, Y., 2008. Numerical Simulation on Debris-Flow Deposition and Erosion Processes Upstream of a Check Dam with Experimental Verification Badri Bhakta SHRESTHA, Hajime NAKAGAWA, Kenji KAWAIKE and Yasuyuki BABA. *Annals of Disas. Prev. Res. Inst.*, Kyoto Univ., 51(B), pp. 613–624.
- Silva, D. M., Costa, S., Canelas, R. B., Pinheiro, A. N. & Cardoso, A. H., 2016. Experimental and numerical study of slit-check dams. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 11(2), pp. 107–118.
<https://doi.org/10.2495/SDP-V11-N2-107-118>
- Takahara, T. & Matsumura, K., 2008. Experimental Study of the Sediment Trap Effect of Steel Grid-Type Sabo Dams. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 1(2), pp. 73–78.
<https://doi.org/10.22146/jcef.18941>
- Takano, A., Moriyama, H., Kawamura, T., Saeki, T. & Kagohashi, K., 2016. Development and On-site Construction of Grid Net - Grid-type Sabo Dam for Debris Flows of Small Boulders. *Kobelco Technology Review*, 18–24.
- Vagnon, F., Segalini, A. & Ferrero, A. M., 2015. Studies of Flexible Barriers Under Debris Flow Impact: An Application to an Alpine Basin. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, pp. 165–172. <https://doi.org/10.22146/jcef.18941>
- Wendeler, C. & Volkwein, A., 2015. Laboratory tests for the optimization of mesh size for flexible debris-flow barriers. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(12), pp. 2597–2604.
<https://doi.org/10.5194/nhess-15-2597-2015>
- Wisoyo, A., 2012. The Analysis of Sabo Dam Performance as a Sediment Control. *Civil Engineering Forum*, XXI (3), pp. 1271–1278.
<https://doi.org/10.22146/jcef.18920>
- Yung, G. & Ng, A., 2017. Design suggestions on flexible debris-resisting barriers. *Proceedings of the HKIE Geotechnical Division 37th Annual Seminar 2017 - G-Evolution, Geotechnical Practice*. Hong Kong, July, pp. 353–362.

[Halaman ini sengaja dibiarkan kosong/*This page is intentionally left blank*]