

## **Analisis Erosi Buluh Pada Dasar Sungai Kali Kuning, Yogyakarta**

Djoko Legono<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, FT-UGM, Yogyakarta

<sup>2</sup>Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI) Cabang D.I Yogyakarta

\*djokolegono@ugm.ac.id

Pemasukan: 18 Juli 2022 Perbaikan: 21 Juli 2022 Diterima: 22 Juli 2022

### **Intisari**

Sungai yang berhulu dari kawasan vulkanik aktif pada umumnya merupakan sungai yang mengalir pada depositnya sendiri, seperti halnya sungai-sungai yang mengalir dari Gunung Merapi. Deposit ini terbentuk dari suatu fenomena erupsi yang memproduksi sejumlah material sedimen dengan berbagai ukuran dan karakteristik. Sifat atau karakteristik deposit ini sangat dinamik seiring dengan interaksinya dengan fenomena hidrologi, utamanya aliran air akibat hujan di daerah tangkapan. Proses perubahan karakteristik deposit dapat berlangsung dalam waktu singkat (dalam rentang waktu harian) ataupun lambat laun (rentang waktu beberapa tahun), tergantung pada pemicunya yaitu aliran air dengan angkutan sedimennya. Fenomena penurunan tanah atau amblesan, termasuk erosi buluh atau *piping* merupakan salah satu dari banyak kasus akibat perubahan karakteristik deposit. Makalah ini menyajikan evaluasi cepat (*rapid assessment*) tentang fenomena erosi buluh yang terjadi di Kali Kuning, Gunung Merapi, tepatnya di sebelah hulu Bendung Samberembe, Kabupaten Sleman, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Hasil analisis menunjukkan bahwa erosi buluh yang terjadi telah diawali dengan gejala dan fenomena dalam kurun waktu sekitar satu tahun sebelum fenomena terjadi. Proses tersebut juga mengikuti kaidah kejadian erosi buluh yang dijelaskan oleh peneliti sebelumnya. Analisis lanjut menunjukkan bahwa erosi buluh dapat memicu laju intensitas gerusan lokal di pangkal ataupun pilar jembatan di sekitarnya. Hasil analisis juga memberikan saran atau rekomendasi tentang penanganan erosi buluh, utamanya untuk tujuan mitigasi kerusakan bangunan disekitar lokasi erosi buluh, baik Bendung Samberembe maupun pilar jembatan.

Kata Kunci: Bendung Samberembe, erosi buluh, Kali Kuning, sungai vulkanik.

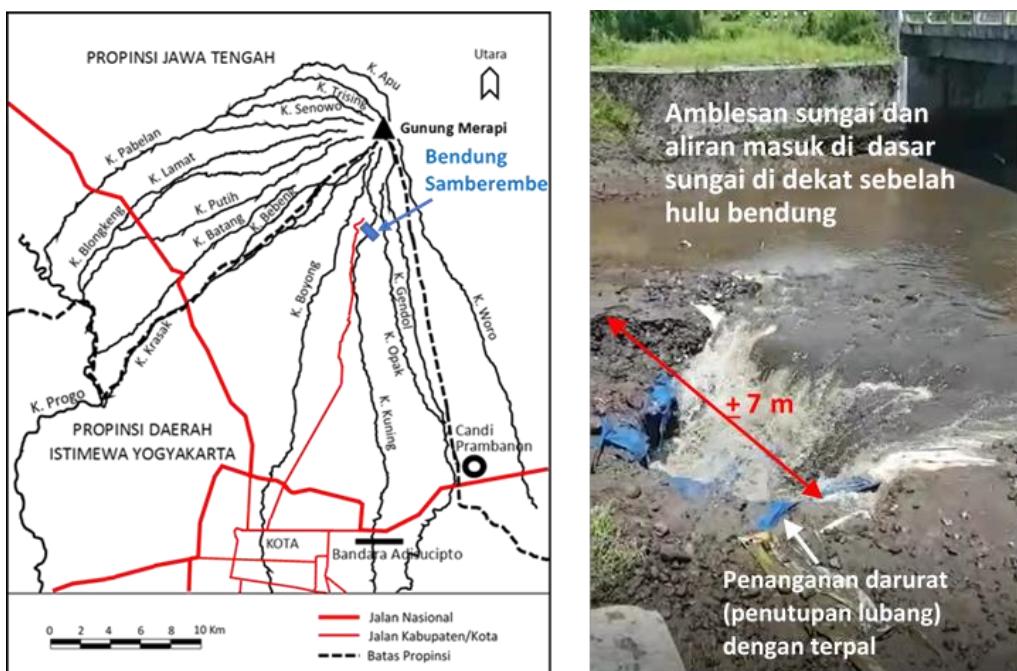
### **Latar Belakang**

Seperti diberitakan, pada hari Jumat, 8 Februari 2019 pukul 11.00, telah terjadi fenomena erosi buluh di dasar Kali Kuning (tepatnya di sebelah hulu Bendung Samberembe, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta). Ukuran amblesan cukup besar, dengan diameter lubang  $\pm 2\text{-}5\text{m}$ , dan mengakibatkan seluruh aliran sungai masuk kedalam lubang amblesan, disertai dengan sedimen hasil erosi dasar sungai di sebelah hulu lubang amblesan. Pada saat yang bersamaan juga terlihat aliran keluar dari dasar sungai di dekat sebelah hilir bendung, dengan aliran yang cukup keruh dengan kandungan sedimen halus atau fraksi lumpuran. Tidak ada data yang jelas yang menyebutkan tentang proses atau kronologis pembentukan lubang

amblesan tersebut, namun beberapa cerita masyarakat di sekitarnya diperoleh informasi bahwa kejadian tersebut bukan yang pertama kalinya. Kejadian amblesan di sebelah hulu bendung dalam ukuran yang lebih kecil telah terjadi pada beberapa bulan sebelumnya.

Tujuan dari studi ini adalah untuk menganalisis kejadian erosi buluh di dasar Kali Kuning di dekat sebelah hulu Bendung Samberembe dengan memperhatikan pada analisis karakteritika deposit sungai serta sejarah atau kronologi kejadian erosi buluh. Hasil analisis akan digunakan sebagai dasar penyampaian rekomendasi terhadap tindak lanjut mitigasi kerusakan bangunan di sekitar Bendung Samberembe.

Peristiwa amblesan dasar sungai di sebelah hulu bendung yang disertai dengan aliran keluar (dengan butir-butir tanah) di sebelah hilir bendung ini dikenal dengan erosi buluh atau *piping*, yang apabila berlangsung secara intensif akan membawa dampak kerusakan pada bendung dan infrasruktur lain di sekitarnya terutama jembatan. Kali Kuning merupakan salah satu dari 9 (sembilan) sungai di kawasan Gunung Merapi yang yang berpotensi terhadap kejadian aliran lahar. Kesembilan sungai tersebut adalah Kali Pabelan, Kali Blongkeng, Kali Putih, Kali Batang, Kali Krasak, Kali Boyong/Code, Kali Kuning, Kali Gendol, dan Kali Woro (Gambar 1). Seperti halnya sungai lain di wilayah Gunung Merapi, Kali Kuning juga sangat potensial untuk terjadi aliran lahar (Hidayat dkk., 2021; Ikhsan dkk., 2021). Kejadian aliran lahar terakhir yang melanda Kali Kuning terjadi pada awal tahun 2011, sebagai dampak dari erupsi Gunung Merapi yang terjadi pada 26 Oktober 2010 dan 3 November 2010 (Legono dkk., 2017). Sumber lain menyebutkan bahwa secara geologi batuan, formasi dasar Kali Kuning di wilayah lereng atas Gunung Merapi termasuk dalam Formasi Sleman dengan litologi vulkanik terdiri dari material pasir, kerakal dan yang lebih besar atau boulder. Ketebalan deposit ini mencapai 38 m, dan bersifat poros dengan permeabilitas (sifat kelolosan air) sangat tinggi (Mac. Donald & Partners, 1984). Di sepanjang Kali Kuning terdapat beberapa bangunan penyadapan air yang digunakan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi, dan salah satunya adalah Bendung Samberembe. Pada Gambar 1 disajikan foto yang menunjukkan amblesan dasar sungai di sebelah hulu bendung yang merupakan awal dari proses erosi buluh. Aliran sungai yang masuk lewat lubang amblesan ini muncul di dasar sungai di sebelah hilir bendung dengan warna keruh yang menunjukkan adanya proses erosi buluh. Di dekat sebelah hulu Bendung Samberembe terdapat jembatan jalan raya, terdiri dari dua bentang dengan bagian tengah berupa pilar pasangan beton. Apabila erosi buluh atau *piping* ini tidak segera ditangani, maka butiran tanah di bawah tubuh bendung akan banyak yang hilang sehingga tanah dasar di bawah tubuh bendung akan kehilangan kemampuan untuk mendukung beban bendung yang berada di atasnya. Hal ini akan membahayakan stabilitas bendung, dan selain itu, penurunan dasar sungai yang berlebihan di sebelah hulu bendung dapat membahayakan stabilitas jembatan yang berada di dekat sebelah hulu bendung.

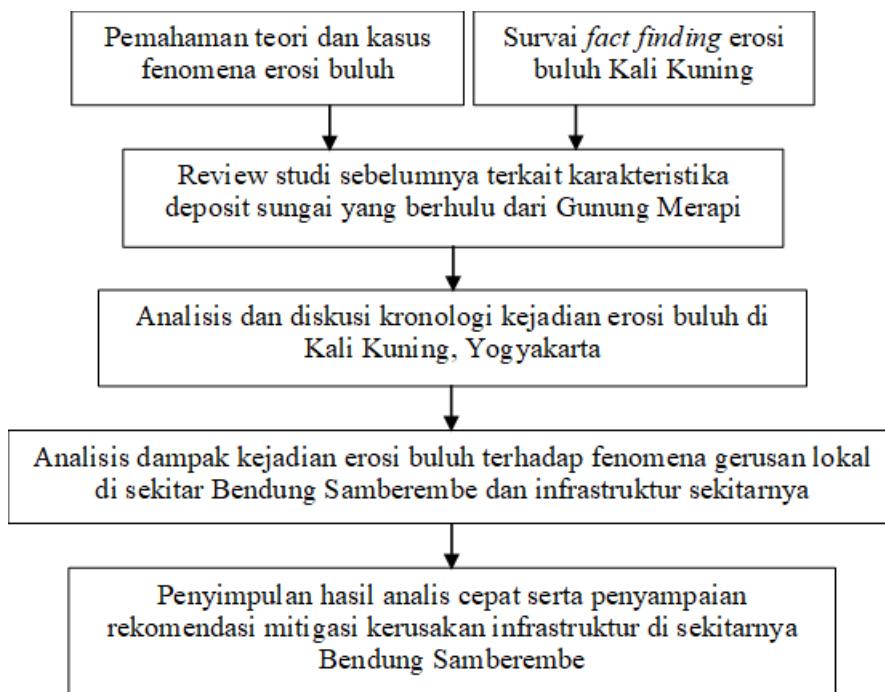


Gambar 1. Lokasi Bendung Samberembe di Kali Kuning dan amblesan

### Metodologi dan Pendekatan Analisis

Analisis erosi buluh dilakukan dengan terlebih dahulu mengkaji ulang beberapa teori yang ada serta kasus-kasus riil kejadian erosi buluh dalam kajian laboratorium maupun lapangan (Bonelli dkk., 2010; Ojha dkk., 2003). Pada Gambar 2 disajikan bagan alir dari pelaksanaan kajian erosi buluh yang dimulai dari tinjauan pustaka serta survai *fact finding*, dilanjutkan dengan diskusi sejarah dan kronologi kejadian erosi buluh Kali Kuning di dekat sebelah hulu Bendung Samberembe, dan diakhiri dengan penyusunan rekomendasi mitigasi dampak kerusakan bangunan di sekitar Bendung Samberembe akibat kejadian erosi buluh. Studi sebelumnya menyebutkan bahwa terdapat empat jenis erosi buluh yang dapat terjadi pada kasus lapangan. Jenis erosi buluh ini tergantung pada geomorfologi, jenis tanah, serta hidrogeologi di mana erosi buluh tersebut terjadi (Sankar dkk., 2016). Empat jenis erosi buluh tersebut dibedakan menurut ukuran lubang erosi buluh, yang sesungguhnya berproses dari ukuran lubang yang kecil sampai dengan yang sangat besar, yaitu:

1. Erosi buluh mikro (*juvenile piping*), dimana ukuran lubang buluh sangat kecil atau kurang dari 5 cm, umumnya terjadi pada jenis tanah lempungan.
2. Erosi buluh kecil (*small piping*), merupakan pengembangan erosi buluh mikro, dengan diameter lubang antara 5-30 cm.
3. Erosi buluh dewasa (*mature piping*), merupakan pengembangan dari erosi buluh kecil, diameter lubang antara 0.30-5.00m, dan erosi buluh seperti ini umumnya terhubung dengan bangunan keluaran yang berfungsi sebagai drainase bawah tanah.
4. Erosi buluh besar (*huge piping*), ini adalah tahap berikutnya dari pipa setelah pengembangan pipa yang khas, diameter lubang umumnya sangat besar (> 5.00m).

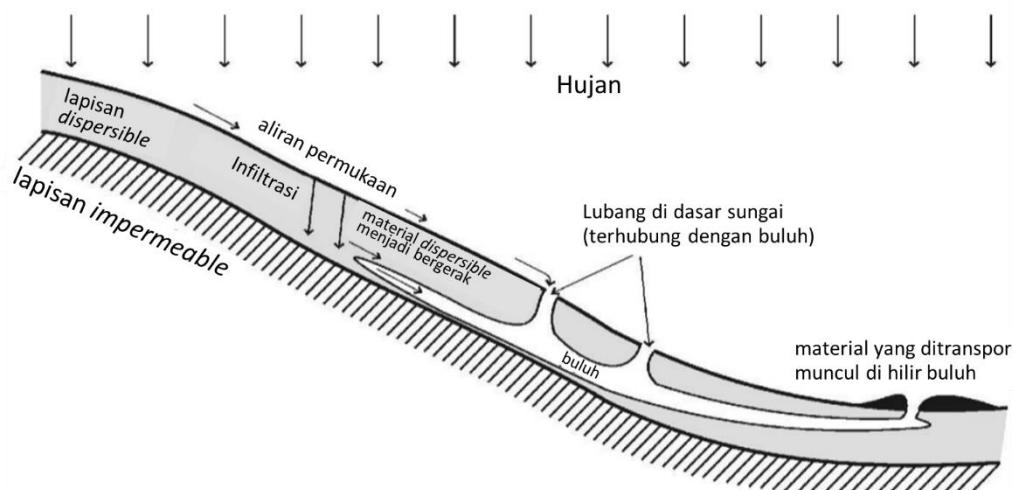


Gambar 2. Bagan alir pelaksanaan kajian erosi buluh, Kali Kuning

Kejadian erosi buluh bukanlah proses yang instan atau mendadak; butuh waktu yang bervariasi dari beberapa hari sampai beberapa tahun, tergantung pada kondisi tanah deposit dan fenomena aliran yang terjadi di suatu tempat. Dua syarat utama yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi terjadinya erosi buluh adalah; (1) tanah menyebar ke dalam air yang bergerak melalui air tanah dan (2) tanah memiliki permeabilitas yang cukup baik dalam matriks tanah atau pori-pori makro untuk memungkinkan pergerakan partikel tanah liat yang tersebar tanpa penyumbatan (Sankar dkk., 2016). Peneliti lain menyebutkan bahwa sifat fisik yang memicu terjadinya erosi buluh adalah: kemiringan energi, elevasi muka air, laju aliran bawah tanah, serta permeabilitas tanah yang dapat tererosi (Gattinoni dkk., 2009; Wang dkk., 2017). Apabila kondisi-kondisi tanah tersebut cukup baik dan tidak mendukung terjadinya erosi maka erosi buluh tidak akan pernah terjadi. Tidak ada faktor tunggal ataupun kelompok faktor yang secara universal berperan untuk pengembangan erosi buluh. Faktor pemicu terjadinya erosi buluh dapat bervariasi dalam situasi yang berbeda antara satu fenomena dengan fenomena yang lain. Beberapa faktor penting untuk mendukung kejadian erosi buluh adalah:

- Air yang cukup untuk membuat kondisi jenuh dari lapis tanah dasar.
- Tinggi tekanan yang cukup untuk mengalirkan air melalui jalur bawah tanah.
- Media berupa material lepas untuk mengalirkan air melalui jalur bawah tanah.
- Tersediannya akses keluar (*outlet*) aliran bawah tanah.

Pada Gambar 3 disajikan sketsa erosi buluh tipikal mulai dari lubang masuk, saluran bawah tanah, dan lubang keluar yang mengkontribusi terjadinya erosi buluh secara umum (Boucher, 1990).



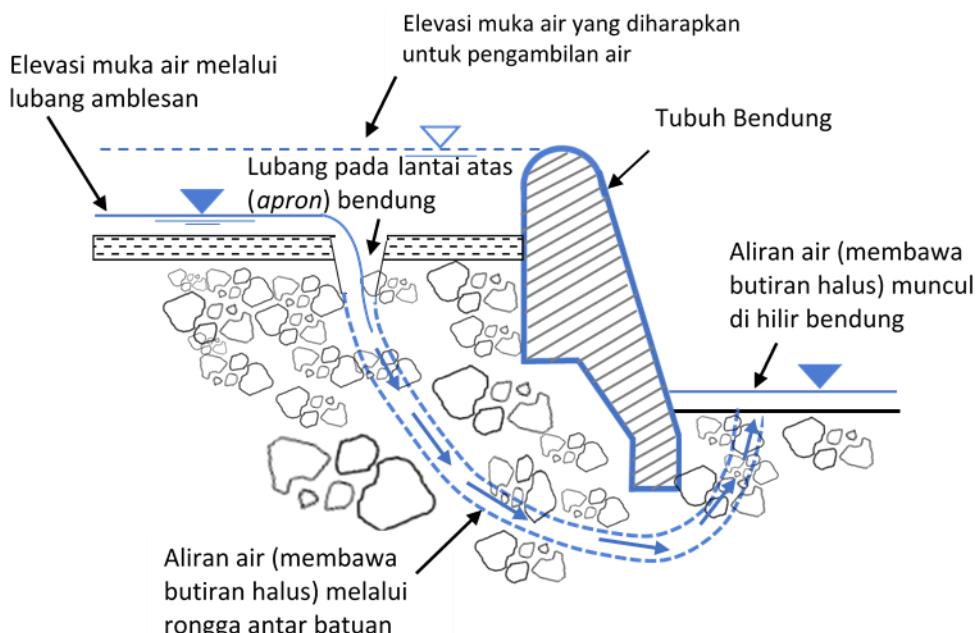
Gambar 3. Sketsa proses erosi buluh (Boucher, 1990)

### Hasil dan Pembahasan

Informasi tentang formasi dasar Kali Kuning sesuai dengan kenampakan di lapangan adalah dijumpai adanya kerakal dan boulder di bawah dasar lantai depan (*apron*) Bendung Samberembe (lihat Gambar 4). Sifat-sifat deposit atau endapan seperti di atas menjadikan erosi buluh atau piping melalui dasar Bendung Samberembe akan sangat potensial, terutama apabila terdapat aliran melalui bagian bawah bendung dengan kemiringan energi yang cukup besar, baik oleh karena perbedaan elevasi dasar sungai ataupun oleh gradien hidraulik (beda tinggi antara elevasi muka air di dekat sebelah hulu dan di sebelah hilir bendung) yang cukup tinggi. Erosi buluh dapat terjadi secara lambat laun atau tiba-tiba, tergantung pada kondisi butiran tanah di bawah dasar sungai serta kondisi aliran sungai. Pada kasus dimana kenaikan air sungai berlangsung secara cepat, misal karena banjir maka gradien hidraulik akan menjadi besar dan dapat memicu kejadian erosi buluh secara mendadak. Erosi buluh secara lambat laun umumnya terjadi karena proses pemanjangan sendiri pada struktur tanah dasar granuler atau tanah dengan permeabilitas tinggi karena adanya aliran air tanah. Kenaikan hidraulik gradien juga dapat terjadi karena adanya pemendekan jalan lintasan air sehingga kecepatan aliran di bawah permukaan tanah semakin besar. Kondisi yang terakhir inilah yang menyebabkan terjadinya erosi buluh seperti yang terjadi pada Kali Kuning tanggal 8 Februari 2019 (lihat sketsa pada Gambar 5). Perkembangan erosi buluh tersebut berawal dari ukuran lubang yang relatif kecil (antara  $\pm 2-5$ m) yang berkembang menjadi ukuran lubang yang relative besar (sebesar  $\pm 7$ m) dalam kurun waktu selama satu musim hujan. Kejadian erosi buluh juga dapat memicu kejadian gerusan terlokalisir (*localized scouring*) di sebelah hulu bendung, serta gerusan lokal (*local scouring*) di sekitar pangkal dan pilar jembatan, yang pada gilirannya dapat mengancam ketabilan struktur jembatan. Penanganan darurat dalam bentuk penyumbatan lubang dengan material yang dapat mencegah butiran halus menjadi hal yang penting untuk segera dilakukan segera berkembang menjadi aliran tanah yang lebih besar karena dapat mengundang gerusan lokal di sekitarnya.



Gambar 4. Formasi dasar Kali Kuning di sebelah hulu Bendung Samberembe



Gambar 5. Sketsa tipikal erosi buluh (*piping*) melalui dasar bendung

Kejadian erosi buluh di dasar Kali Kuning di sebelah hulu Bendung Samberembe telah mengakibatkan gerusan lokal di sekitar bagian jembatan di sebelah hulu bendung, yaitu sebesar kurang lebih 0,50m, 0,80m, dan 0,60m, berturut-turut di sekitar pangkal jembatan, pilar jembatan, serta tebing sungai di sebelah kiri (lihat Gambar 6). Kehadiran lubang di lantai atas (*apron*) Bendung Samberembe dapat disebabkan oleh berbagai hal, antara lain oleh benturan antara lantai dengan material sedimen yang dibawa oleh aliran air, rusaknya lantai atas bendung karena usia (*aging*), ataupun hilangnya daya dukung tanah di bawah lantai. Kejadian erupsi Gunung Merapi yang terjadi pada tahun 2010 yang diikuti dengan aliran lahar pada awal tahun 2011 di Kali Kuning juga berperan dengan rusaknya lantai atas Bendung Samberembe.



Gambar 6. Gerusan di sekitar jembatan di sebelah hulu Bendung Samberembe

Penanganan yang dipandang relevan pada kasus kejadian erosi buluh seperti halnya Kali Kuning ini adalah dengan melakukan penyumbatan di lubang dasar sungai, baik dengan timbunan material batu, ataupun dengan batu cor. Pada prinsipnya penyumbatan mempunyai dua tujuan, pertama adalah mencegah butiran tanah masuk ke dalam rongga di bawah tanah, dan kedua adalah memperpanjang jalan atau lintasan air melalui dasar bendung. Mengingat persoalan erosi buluh adalah adanya aliran air yang membawa butiran tanah, maka sebelum dilakukan tindakan penyumbatan tersebut sebaiknya dilakukan pemasangan lembar saringan atau filter (misal: geotekstil, atau geotube, atau anyaman bambu), yang berfungsi untuk menahan bitiran halus apabila terjadi aliran air tanah atau air rembesan melalui dasar sungai di sekitar tubuh bendung. Setelah penanganan dilakukan ada baiknya juga melakukan pemantauan secara kontinyu terhadap kondisi lantai atas (*apron*) di sebelah hulu bendung, serta pengamatan aliran keluar di sebelah hilir bendung. Apabila di sebelah hilir bendung terdapat aliran air keluar disertai dengan membawa lumpur (keruh), maka perlu dicurigai bahwa fenomena erosi buluh sedang berlangsung. Demikian juga apabila dijumpai lubang bocoran di lantai atas (*apron*) bendung, seberapapun kecilnya, agar segera dilakukan penyumbatan dengan cara-cara seperti disebutkan di atas.

## Kesimpulan dan Saran

### Kesimpulan

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa kejadian erosi buluh pada dasar Kali Kuning di dekat sebelah hulu Bendung Samberembe bukan merupakan kejadian yang tiba-tiba, melainkan kejadian yang telah diawali dengan proses-proses sebelumnya. Semua faktor pendukung kejadian erosi buluh baik yang

berupa beda tinggi tekanan hidraulik, karakteristik sedimen dasar, perbedaan tekanan hidraulik, kehadiran jalur erosi di bawah bendung, cukup menjadi pemicu untuk kehadiran erosi buluh.

2. Proses erosi buluh yang diawali dengan kerusakan lantai hulu berupa lubang erosi kecil (*small piping*) yang kemudian berkembang menjadi erosi besar (*huge piping*) menunjukkan pentingnya penanganan awal sebelum beban keairan hadir pada skala yang lebih besar.
3. Perlu segera dilakukan penyumbatan lubang erosi buluh dengan susunan material serta bahan geotekstil yang dapat mencegah terjadinya aliran air dan tanah masuk ke dalam buluh atau pipa.

### Saran

1. Peran dari lantai hulu untuk memperpanjang garis rembesan sangat diperlukan dalam rangka menghindari aliran butiran tanah di bawah badan bendung. Untuk itu kerusakan lantai dasar yang seberapapun kecilnya harus segera diperbaiki agar proses erosi buluh tidak berkembang yang dapat mengancam konstruksi bendung kehilangan daya dukung karena hilangnya material di bawah tubuh bendung
2. Analisis erosi buluh ini belum didukung dengan data teknis yang dapat digunakan sebagai prediksi potensi kejadian erosi boleh di lokasi kejadian. Oleh sebab itu penelitian selanjutnya yang didukung dengan penggunaan data teknis katrakteristika tanah deposit di sekitar Bendung Samberembe serta data aliran di titik kontrol Bendung Samberembe sangat disarankan.
3. Perlu pengamatan periodik yang terkait dengan fenomena rembesan yang berpotensi memicu kejadian erosi buluh, antara lain dengan mengetahui kekeruhan atau turbiditas dari air yang berada di sebelah hilir bendung.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Balai Besar Willayah Sungai Serayu-Opak, Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI) Cabang Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, serta masyarakat di sekitar lokasi Bendung Samberembe, atas keterangan dan diskusi yang disampaikan selama penulis melakukan evaluasi cepat (*rapid assessment*) di lapangan.

### Daftar Referensi

- Bonelli, S., Benahmed, N. (2011). Piping flow erosion in water retaining structures: inferring erosion rates from hole erosion tests and quantifying the failure time. HAL Archives-Ouvertes. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00555648>
- Boucher, S.C. (1990). Field tunnel erosion, its characteristics and amelioration. Dept. of Conservation and Environment, Land Protection Division. [http://refhub.elsevier.com/S0012-8252\(18\)30243-5/rf0140](http://refhub.elsevier.com/S0012-8252(18)30243-5/rf0140)

- Gattinoni, P., and Francani, V. (2009). A Tool for Modeling Slope Instability Triggered by Piping. *International Journal of Geological and Environmental Engineering*, 3(8): 238-244.
- Hidayat, M., Legono, D., Wigynosukarto, B., Jayadi, R., Rahardjo, A.P., Hairani, A., Harsanto, P., Ikhsan, J. (2021). Flow Behavior of Boyong River as Revealed by Long-term Hydro-monitoring System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 930, 4th International Conference of Water Resources Development and Environmental Protection (ICWRDEP 2021) 7 August, Malang, Indonesia (Virtual)*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012023>
- Ikhsan, J., Legono, D., Ardiansyah, R. (2021). Simulation of debris flows in the watershed of the Putih River, Indonesia using SIMLAR 2.1. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 930, 4th International Conference of Water Resources Development and Environmental Protection (ICWRDEP 2021) 7 August, Malang, Indonesia (Virtual)*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012034>
- Legono, D., Rahardjo, A.R. (2017). Lahar Flow Disaster, Human Activities, and Risk Mitigation on Volcanic Rivers, John Wiley Publisher. <https://doi.org/10.1002/9781118971437.ch20>
- Mac Donald & Partners. (1984). Greater Yogyakarta Ground Water Resources Study, Volume I: Main Report, The Republic of Indonesia, The Ministry of Public Works, The Directorate General of Water Resources.
- Ojha, C.C.P., Sing, V.P., and Adrian, D.D. (2003). Determination of Critical Head in Soil Piping. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(7): 511-518 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:7\(511\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:7(511))
- Sankar, G., Varma, A.K., Kuriakose, S.L., Deepa, C., Rajan, P.P., Eldhose, K. (2016). Studies on Soil Piping in the Highlands and Foothills of Kerala to avoid the Disaster. Project Report, National Centre for Earth Science Studies (NCESS), Ministry of Sciences, India.
- Wang, Y., Li, C., Zou, X., and Wei, X. (2017). Seepage Piping Evolution Characteristics in Bimsoils-An Experimental Study. *Water*, 9: 458. <https://doi.org/doi: 10.3390/w9070458>

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