

REKAYASA HIDRAULIK UNTUK PENGENDALIAN SEDIMENTASI BENDUNGAN SENGGURUH

Jonathan Angelo Ishakputra*, Slamet Lestari, Taty Yuniarti, Byan Farras Al Akbar, Iqbal Fauzan Herlambang, M. Rifqi Asyraf, dan M. Alix Rachman

Direktorat Bendungan dan Danau, Kementerian PUPR

*jonathanangelo82@gmail.com

Pemasukan: 29 Juni 2024 Perbaikan: 30 September Diterima: 12 Desember 2024

Intisari

Sungai Brantas merupakan salah satu sungai besar yang terletak di Provinsi Jawa Timur. Sungai ini memiliki panjang mencapai 320 km dan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) sebesar 14.103 km². Berbagai macam bangunan air telah dibangun pada aliran Sungai Brantas dengan tujuan ketahanan air dan produksi energi listrik. Dibalik manfaat yang dihasilkan terdapat permasalahan yang cukup serius yakni sedimentasi. Bendungan Sengguruh merupakan Bendungan yang terletak pada bagian hulu pada DAS Brantas yang mendapat pasokan air dari Sungai Brantas Hulu dan Sungai Lesti. Setiap tahun sebanyak 528.915,9 m³ sedimen mengendap di Bendungan Sengguruh yang berasal dari erosi DAS Sungai Brantas Hulu dan Sungai Lesti. Akibat dari sedimentasi yang terjadi, maka dilakukan pengelontoran sedimen atau *flushing* setiap dua tahun sekali. Penelitian ini akan membahas terkait efektifitas *submerged sediment trap* sebagai upaya rekayasa hidraulik untuk pengendalian sedimen pada Bendungan Sengguruh. Metode yang dilakukan pada penelitian ini dengan melakukan pemodelan numerik sedimentasi 2-dimensi selama 1 tahun dan data yang gunakan adalah data debit *inflow* sungai, bathimetri Bendungan Sengguruh, debit sedimen, data teknis Bendungan Sengguruh dan pola operasi Bendungan Sengguruh. Berdasarkan hasil pemodelan dengan penggunaan *submerge sediment trap* mampu mereduksi sedimen terendap pada reservoir Bendungan Sengguruh dari 4,4 m menjadi 4,0 m dan penurunan luas sedimentasi.

Kata Kunci: Pengendalian Sedimentasi, Bendungan Sengguruh, Rekayasa Hidraulik

Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam utama untuk mahluk hidup (Young, 2006) yang dapat diperoleh melalui fenomena hujan, namun sayangnya fenomena ini tidak terjadi setiap saat, sehingga manajemen sumber daya air diperlukan sebagai sarana konservasi air. (Adongo, Kyei-Baffour, Abalage, & Agyare, 2019). Waduk merupakan tampungan air buatan manusia (Sisinggih, 2021) yang memiliki tujuan untuk beberapa kepentingan seperti bangunan pengendali banjir (Teguh, 2021), pemenuhan air baku, irigasi, pembangkit listrik, wisata, dll. Kegunaan dari sebuah waduk ditentukan dari usia layanan waduk itu sendiri. Usia layanan waduk merupakan gabungan dari usia guna, usia ekonomis, usia manfaat, usia desain dan

usia penuh waduk (Sisinggih, 2021). Usia waduk dikatakan sudah penuh apabila kapasitas waduk terisi hingga titik inlet oleh sedimen.

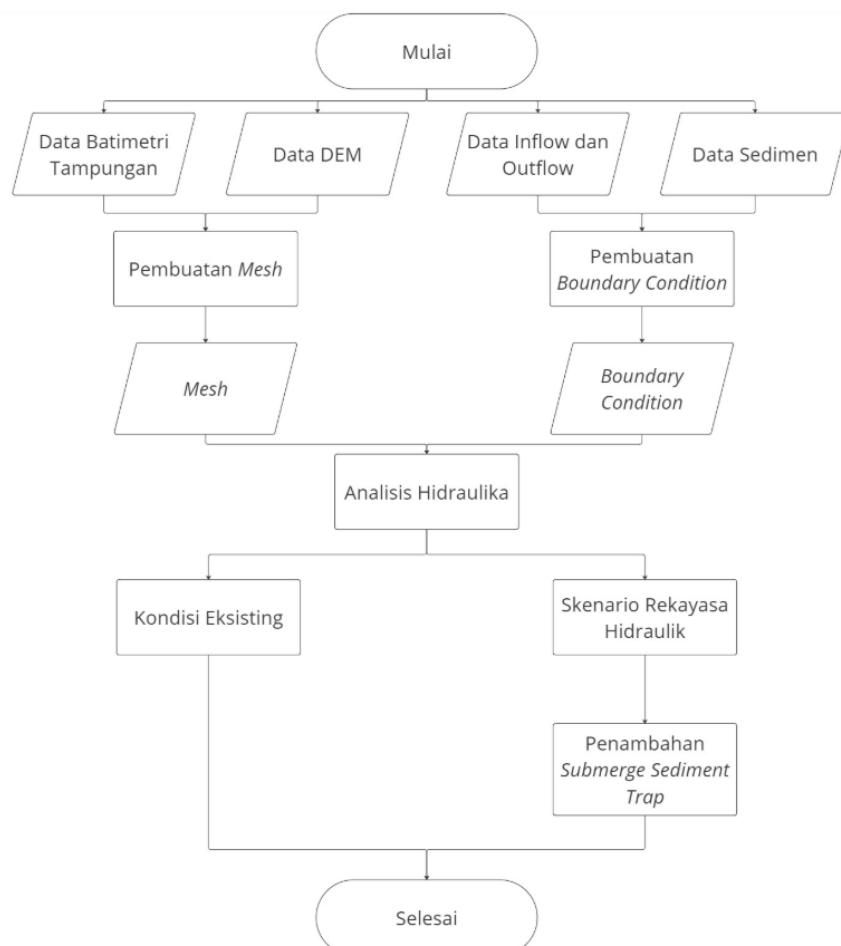
Sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi, deopsisi dan kompaksi partikel tanah oleh aliran air (Chabalala, 2017; Obialor, 2019; Reseda, 2022) dan merupakan fenomena yang tidak dapat terelakan pada semua reservoir (Anton J., 2016) sehingga sedimentasi yang tidak terkontrol mengarah pada penurunan kapasitas tampungan. (Adongo, Kyei-Baffour, Abalage, & Agyare, 2019; Morris, 2020; Madadi, 2022). Fenomena sedimentasi tidak hanya berdampak pada waduk melainkan pada morfologi sungai dibawah waduk tersebut yang terdampak akibat kurangnya pasokan sedimen (Wang, 2009).

Pengendalian sedimentasi pada waduk perlu direncanakan sejak perencanaan konstruksi bendungan (Nda, 2020). Pengendalian sedimen dapat dilakukan sebelum dan sesuai masuk waduk. Konservasi tanah dan air di bagian hulu merupakan upaya pengendalian sedimentasi sebelum memasuki waduk yang bertujuan untuk mengurangi laju erosi lahan dengan melakukan penghijauan, Pembangunan *check dam*, *gully plug*, dsb (Sisinggih, 2021). Sedangkan pengendalian sedimen sesudah masuk ke waduk dapat dilakukan dengan rekayasa hidraulik seperti pengeringan, penggelontoran, *venting*, *sluicing*, *submerge sediment trap*, dll (Nda, 2020).

Sungai Brantas merupakan salah satu sungai besar yang terletak di Provinsi Jawa Timur. Sungai ini memiliki panjang mencapai 320 km yang memiliki luasan Daerah Aliran Sungai (DAS) sebesar 14.103 km² (Nippon Koei Co., Ltd. Japan Water Agency, 2024). Bendungan Sengguruh adalah bendungan yang terletak paling hulu di aliran Sungai Brantas, berperan penting dalam mengelola aliran air dan sedimen di kawasan tersebut. Bendungan ini menerima pasokan air dari dua sungai utama: Sungai Brantas Hulu dan Sungai Lesti. Sungai Brantas Hulu melayani daerah tangkapan air yang luasnya mencapai 102.990,60 Ha, sedangkan Sungai Lesti melayani daerah tangkapan air seluas 61.546,8 Ha. setiap tahun sekitar 528.915,9 m³ sedimen mengendap di badan air Bendungan Sengguruh. Sedimen ini berasal dari erosi yang terjadi di daerah aliran Sungai Brantas Hulu dan Sungai Lesti, menunjukkan betapa pentingnya pengelolaan erosi dan sedimentasi untuk menjaga kapasitas dan fungsi bendungan. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis efektifitas *submerged sediment trap* sebagai upaya rekayasa hidraulik untuk pengendalian sedimen di Bendungan Sengguruh.

Metodologi Studi

Penelitian ini menggunakan pemodelan numerik 2-dimensi dengan Langkah penggerjaan ditunjukan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terdapat data-data dan langkah-langkah pemodelan akan dijabarkan melalui Pengumpulan Data, Pengolahan Data, pemodelan, dan kalibrasi model.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Pengumpulan Data

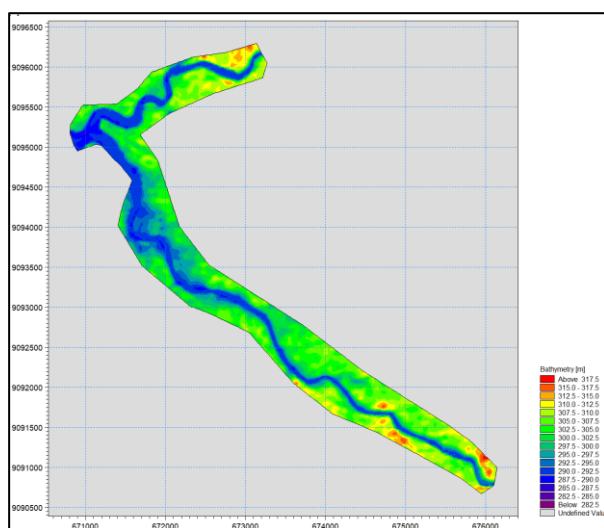
Tabel 1 Ketersediaan Data

Jenis Data	Tahun	Sumber
Batimetri Waduk Sengguruh	2021 - 2023	PJT I
DEMNAS	2018	DEMNAS
Inflow dan TMA	2013 - 2023	PJT I
Sedimen	2021 - 2023	PJT I
Data Teknis Bendungan	-	PJT I

Dari Tabel 1 dibutuhkan 4 data yang akan digunakan sebagai input dari pemodelan. Data batimetri menggunakan data hasil pengukuran tahun 2021 dan 2023 yang bersumber dari PJT I. Data DEMNAS memiliki resolusi 0,27-acrsecond tahun 2018 yang diunduh dari situs resmi DEMNAS. Untuk data *boundary condition* menggunakan data *inflow* waduk Sengguruh tahun 2013 hingga 2023 sedangkan data TMA diatur setinggi 292,5 karena Waduk Sengguruh merupakan waduk harian (Gambar 2). Data sedimen didapat dari selisih kapasitas tampungan tahun 2021 dan 2023.

Pengolahan Data

Pengolahan data untuk pembuatan mesh diawali dengan merubah data batimetri menjadi data *raster* dengan resolusi 10x10 m yang kemudian di-*overlay* menggunakan data DEMNAS menggunakan perangkat lunak pemodelan GIS. Setelah mendapat *output* berupa *raster* kemudian dilakukan *extract* untuk mendapat koordinat dan elevasi setiap grid. Data koordinat dan elevasi setiap grid disimpan dengan *format* data.xyz untuk pembuatan *mesh* yang akan digunakan pada pemodelan numerik 2 dimensi.



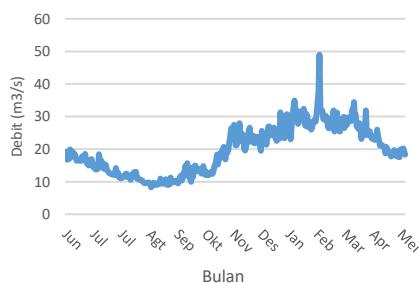
Gambar 2 Batimetri Waduk Sengguruh

Dalam melakukan pemodelan membutuhkan boundary condition pada titik *inflow* dan *outflow* pada Waduk Sengguruh. *Inflow* berupa debit air dari 2 sumber yaitu DAS Brantas Hulu dan DAS Lesti, debit didapat dari rata-rata debit harian selama 10 tahun yang kemudian dibagi dengan perbandingan luas DAS dari DAS Brantas Hulu dan DAS Lesti. Masing-masing kondisi batas dari DAS Brantas Hulu dan DAS Lesti membawa sedimen dengan konsentrasi 839.86 g/m³, besaran konsentrasi sedimen didapat dari pembagian volume sedimen dari tahun 2021 – 2023 dengan volume debit selama 2 tahun. Pada bagian *outflow* Waduk Sengguruh diatur dengan pelimpah dan TMA Waduk Sengguruh. Debit pelimpah didapat dengan persamaan debit pelimpah dengan lebar pelimpah 28 m dan interval ketinggian efektif sebesar 0.1m, sedangkan untuk Waduk Sengguruh merupakan waduk harian dengan MAN +292.5 m dan tidak memiliki fluktuasi elevasi air yang besar.

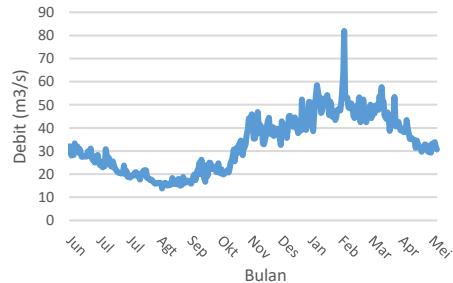
Pemodelan

Gambar 3 hingga Gambar 6 menampilkan debit sungai, TMA dan *rating curve*. Pada makalah ini menggunakan pemodelan numerik 2-dimensi dengan perangkat lunak *Mike 21*. Pemodelan yang dilakukan merupakan *hydrodynamic model* dan *sand transport model*. *Hydrodynamic model* mensimulasikan perubahan tinggi muka air dan aliran air terhadap waktu akibat berbagai gaya, sedangkan *sand transport model* merupakan pemodelan yang di hasilkan berdasarkan perhitungan adveksi-dispersi dari *hydrodynamic model*. Terdapat dua skenario yang digunakan

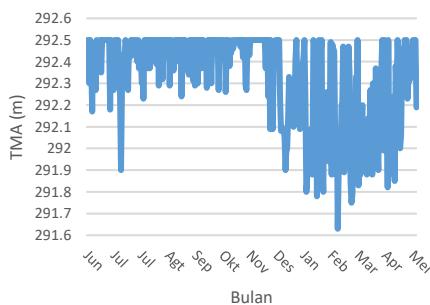
dalam pemodelan ini. Skenario pertama yaitu skenario kondisi eksisting dimana kondisi eksisting dimodelkan untuk menjadi *benchmark* dalam pemodelan selanjutnya. Skenario ke-dua yaitu skenario dengan rekaya hidraulik. Rekaya Hidraulik yang dilakukan pada Waduk Sengguruh yaitu dengan peletakan 3 buah *submerged sediment trap* yang masing-masing memiliki elevasi 291.5. Lokasi peletakan *submerge sediment trap* ditampilkan pada Gambar 7.



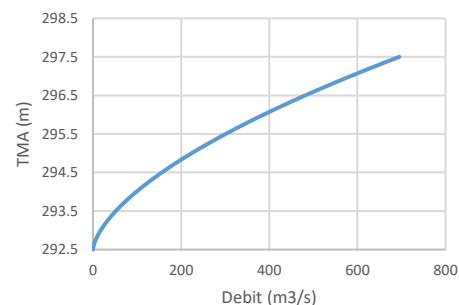
Gambar 3 Debit Sungai Lesti



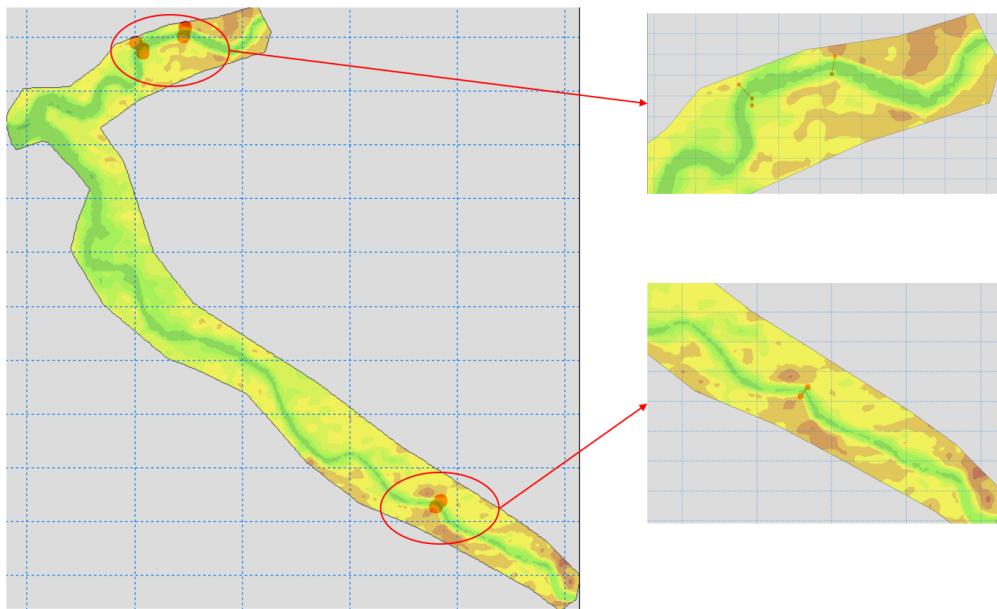
Gambar 4 Debit Sungai Brantas Hulu



Gambar 5 TMA Waduk Sengguruh



Gambar 6 Rating Curve Sengguruh



Gambar 7 Lokasi Peletakan Submerge Sediment Trap

Pemodelan 2-dimensi ini memiliki batasan yaitu hanya memodelkan pengendapan sedimen selama 1 tahun yang dimulai pada bulan juni dan tidak mengikutsertakan kejadian flushing. Selain itu, pemodelan ini hanya memiliki dua inflow dari Sungai Brantas Hulu dan Sungai Lesti serta tidak adanya sedimen layang yang keluar dari Waduk Sengguruh. Output pemodelan meliputi arah aliran dan perubahan dasar waduk akibat adanya sedimentasi yang terjadi baik saat kondisi eksisting dan setelah penambahan *submerge sediment trap*.

Kalibrasi Model

Kalibrasi model sedimentasi Bendungan Sengguruh dilakukan dengan membandingkan antara hasil pola sedimentasi model eksisting dan pola sedimentasi eksisting di lapangan yang diperoleh dari data profil sedimentasi Bendungan Sengguruh tahun 2021 dan 2022. Pemilihan tahun 2021 dan 2022 berdasarkan adanya pekerjaan flushing pada tahun 2021 dan pengamatan pola sedimentasi selama satu tahun setelah kejadian tersebut. Hal ini serupa dengan set-up model yang menggunakan batimetri tahun 2023 setelah pekerjaan flushing, dimana output dari model dianalisis untuk periode satu tahun. Dengan membandingkan hasil model dengan data profil sedimentasi dari tahun 2021 dan 2022, dilakukan kalibrasi parameter dalam pemodelan dengan membandingkan bentuk pola sedimentasi yang terjadi pada Bendungan Sengguruh.

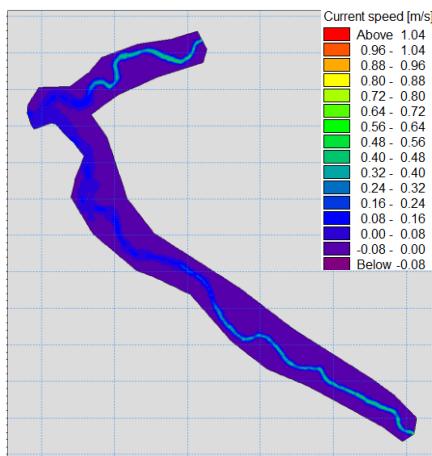
Hasil Pemodelan dan Pembahasan

Setelah melakukan *set-up model* dan *running model*, didapat hasil untuk kedua skenario yang telah ditetapkan sebelumnya. Hasil pemodelan menunjukkan perubahan yang cukup signifikan akibat adanya penambahan *submerged sediment trap* sebanyak 3 buah.

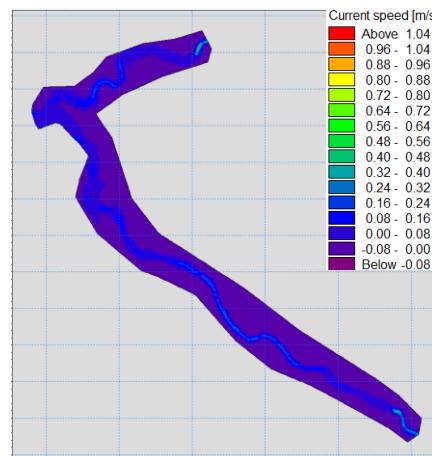
Gambar 8 hingga Gambar 15 menunjukkan perilaku aliran air setiap triwulan untuk scenario-01 (eksisting) dan scenario-02 (rekayasa hidraulik). Pada skenario -01 dimana ini merupakan pemodelan kondisi eksisting, dapat dilihat bahwa Sungai Brantas Hulu lebih dahulu sampai di area outlet yaitu pada bulan ke- 6 dibandingkan dengan aliran air Sungai Lesti yang mencapai daerah outlet pada bulan ke-9. Hal ini dapat terjadi diakibatkan oleh perbedaan panjang saluran terhapa Lokasi outlet Bendungan Sengguruh. Selain itu, aliran air mengalir dari hulu ke hilir tanpa terputus dan cendurnya memiliki kecepatan aliran yang serupa sepanjang aliran air dengan besar mencapai 0.8m/s. aliran air yang serupa sepanjang saluran menunjukkan tidak adanya hambatan dalam saluran. Kecepatan air sangat dipengaruhi oleh besarnya debit air yang mengalir, hal ini terbukti terjadinya penurunan kecepatan air dari bulan ke-9 ke bulan ke-12 yang diakibatkan oleh perubahan musim dari musim hujan ke musim kemarau.

Berbeda dengan skenario-02 dengan penambahan *submerged sediment trap* pada elevasi 291.5m sebagai upaya rekayasa hidraulik yang secara signifikan menurunkan kecepatan aliran baik dari Sungai Brantas Hulu maupun Sungai Lesti. Pada aliran Sungai Brantas Hulu terjadi perbaikan kecepatan aliran yang cukup signifikan pada daerah sebelum dan setelah *submerge sediment trap* pertama dimana kecepatan aliran menurun lebih dari 0.5 m/s mendekati 0 m/s. lalu kecepatan air kembali

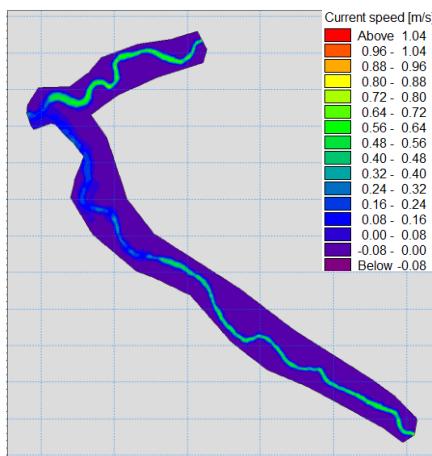
meningkat setelah melewati *submerged sediment trap* ke-2. Pada Sungai Lesti kecepatan aliran air terbilang cukup rendah dari inflow hingga Lokasi *submerged sediment trap* dan kecepatan aliran air meningkat setelah melewati *submerged sediment trap*. Kedua sungai ini memiliki tren aliran air yang berbeda dengan penambahan *submerged sediment trap* dikarenakan batimetri pada Sungai Lesti cenderung lebih landai dibandingkan dengan Sungai Brantas Hulu.



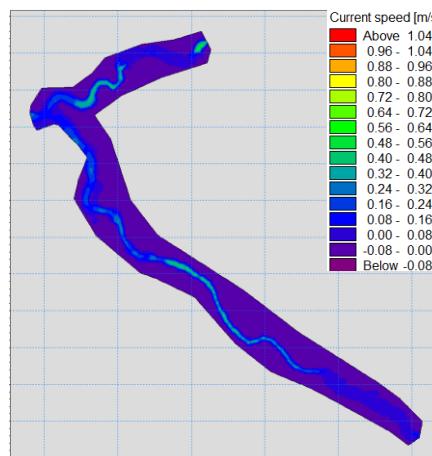
Gambar 8 Aliran Air Bulan ke-3
Skenario-01



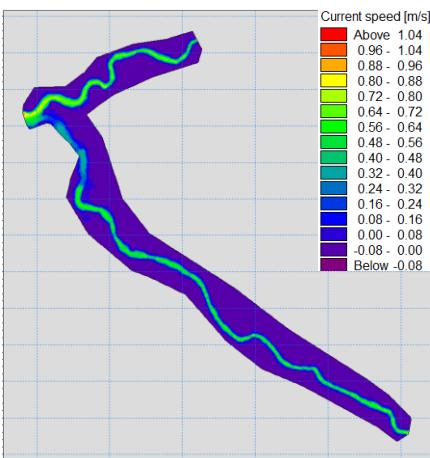
Gambar 9 Aliran Air Bulan ke-3
Skenario-02



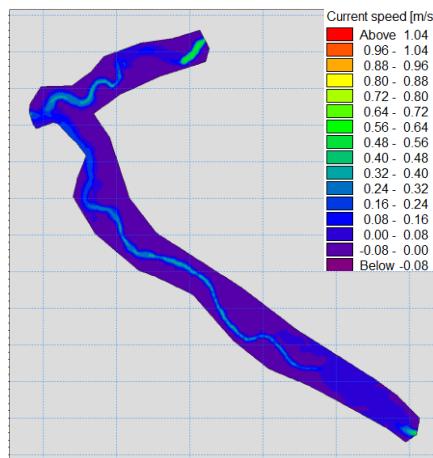
Gambar 10 Aliran Air Bulan ke-6
Skenario-01



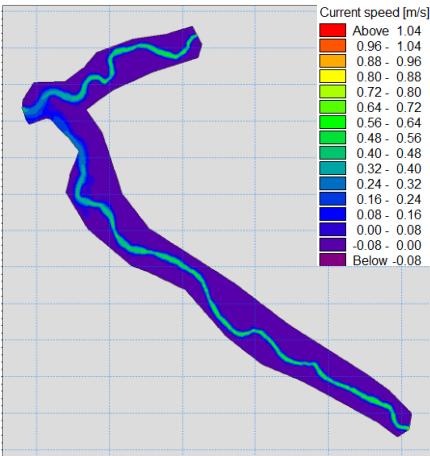
Gambar 11 Aliran Air Bulan ke-6
Skenario-02



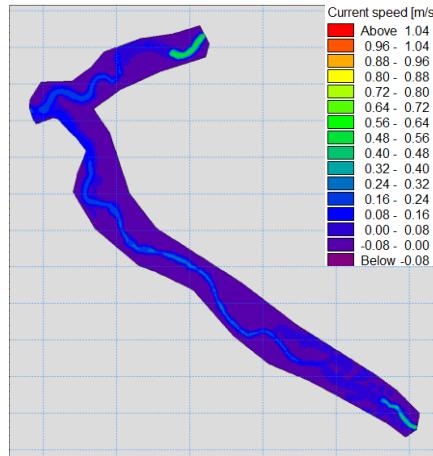
Gambar 12 Aliran Air Bulan ke-9
Skenario-01



Gambar 13 Aliran Air Bulan ke-9
Skenario-02



Gambar 14 Aliran Air Bulan ke-12
Skenario-01

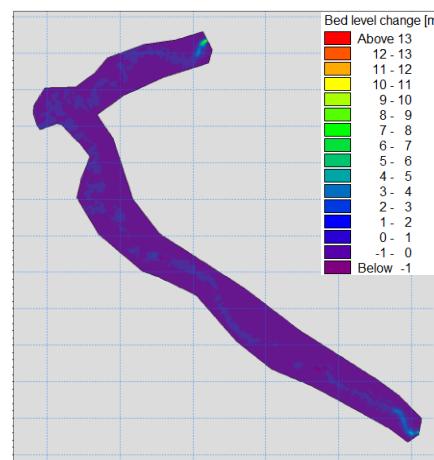


Gambar 15 Aliran Air Bulan ke-12
Skenario-02

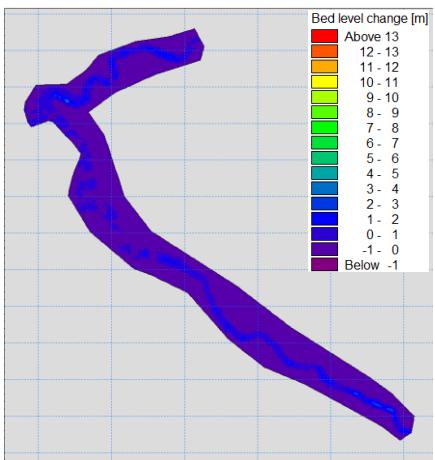
Gambar 16 hingga Gambar 23 menampilkan tren lokasi sedimentasi pada tampungan Bendungan Sengguruh setiap triwulan. Dalam scenario-01, tren sedimentasi yang terjadi di Sungai Brantas Hulu dan Sungai Lesti cenderung merata dari hulu hingga hilir. Namun, suplai sedimen dekat outlet lebih didominasi oleh sedimen dari Sungai Brantas Hulu dibandingkan Sungai Lesti. Hal ini karena Sungai Brantas Hulu memiliki panjang yang relatif lebih pendek dan kemiringan yang lebih curam. Sedimen dari Sungai Brantas Hulu mencapai lokasi sekitar outlet pada bulan ke-9, sementara sedimen dari Sungai Lesti mencapai lokasi tersebut pada bulan ke-12. Selain itu, Sungai Lesti cenderung mengalami sedimentasi sepanjang badan sungainya daripada mengalirkan sedimen menuju outlet. Pada akhir pemodelan, ketebalan sedimen yang mengendap di sekitar outlet mencapai 4,4 meter.



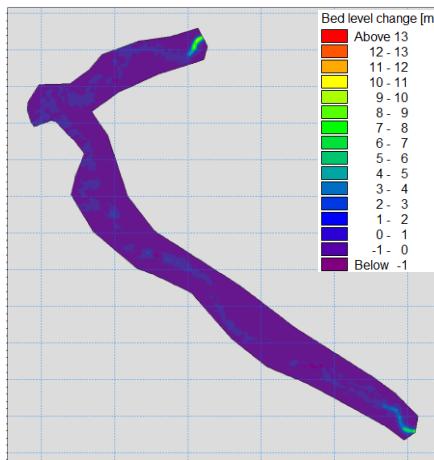
Gambar 16 Tinggi Sedimentasi Bulan ke-3 Skenario-01



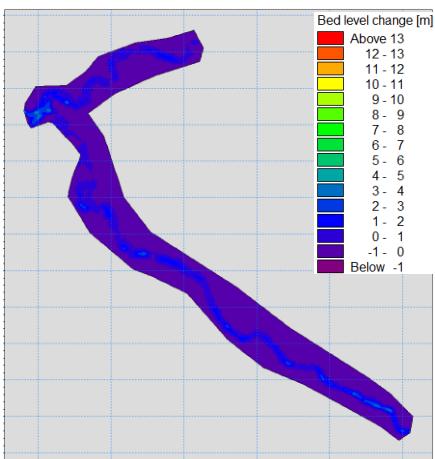
Gambar 17 Tinggi Sedimentasi Bulan ke-3 Skenario-02



Gambar 18 Tinggi Sedimentasi Bulan ke-6 Skenario-01



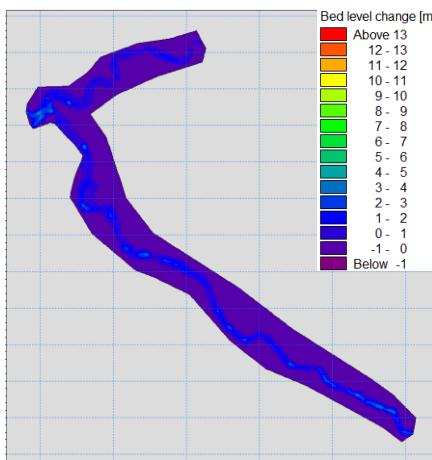
Gambar 19 Tinggi Sedimentasi Bulan ke-6 Skenario-02



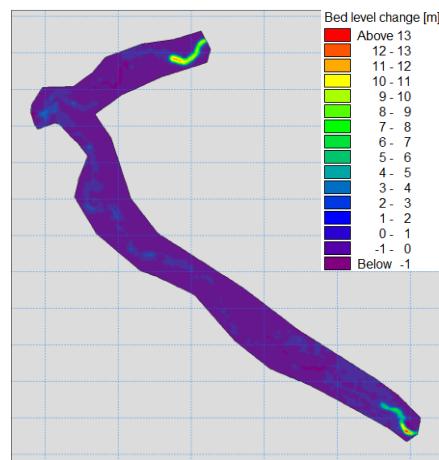
Gambar 20 Tinggi Sedimentasi Bulan ke-9 Skenario-01



Gambar 21 Tinggi Sedimentasi Bulan ke-9 Skenario-02



Gambar 22 Tinggi Sedimentasi Bulan ke-12 Skenario-01



Gambar 23 Tinggi Sedimentasi Bulan ke-12 Skenario-02

Penurunan tinggi sedimentasi terjadi secara signifikan setelah penambahan tiga buah *submerged sediment trap*. Hasil pemodelan menunjukkan tinggi sedimentasi berkurang sekitar 0,4m dari 4,4m menjadi 4,0m. Tidak hanya ketebalan sedimentasi yang berkurang, namun luas lokasi sedimentasi terjadi penurunan. Submerge sediment trap berperan sebagai penahan sedimen agar tidak mencapai daerah outlet. Penambahan submerge sediment trap dinilai efektif karena adanya sedimen yang tertahan. Pada Sungai Brantas Hulu terdapat 2 buah *submerged sediment trap* diletakan pada aliran sungai, hasil pemodelan menunjukkan pengendapan sedimen terjadi hanya pada lokasi tepat sebelum *submerged sediment trap* yang pertama dan pada lokasi sebelum *submerged sediment trap* ke-2 tidak ditemukan sedimentasi yang signifikan. Ketebalan sedimentasi pada Sungai Brantas Hulu mencapai 11m pada akhir pemodelan. Berbeda dengan Sungai Lesti, sungai ini hanya memiliki 1 *submerged sediment trap* dan dinilai cukup berpengaruh karena adanya penumpukan sedimentasi mencapai 13 m tetapi berada cukup jauh dari lokasi *submerge sediment trap*. Hal ini dapat terjadi karena kemiringan Sungai Lesti cenderung landau dan adanya penambahan *submerged sediment trap* yang menahan kecepatan air.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa rekayasa hidraulik, khususnya penambahan *submerged sediment trap*, efektif dalam mengurangi kecepatan aliran air dan sedimentasi di Sungai Brantas Hulu dan Sungai Lesti. Pada kondisi eksisting (Skenario-01), aliran air dan sedimentasi mengalir dengan cepat dan merata sepanjang saluran, sementara perubahan musim menyebabkan penurunan kecepatan air. Sedimentasi mencapai ketebalan maksimum di dekat outlet Bendungan Sengguruuh.

Dengan penambahan *submerge sediment trap* dalam Skenario-02, kecepatan aliran air berkurang secara signifikan sebelum dan setelah *submerged sediment trap*, mengurangi pengendapan sedimen di outlet. Sungai Brantas Hulu dan Sungai Lesti menunjukkan pola sedimentasi yang berbeda karena perbedaan kemiringan dan penempatan *submerged sediment trap*. Penurunan ketebalan sedimen dari 4,4 meter menjadi 4,0 meter di sekitar outlet menunjukkan efektivitas *submerged sediment trap* dalam mengelola sedimentasi, sehingga mengurangi risiko penyumbatan dan meningkatkan efisiensi pengelolaan air di bendungan.

Secara keseluruhan, rekayasa hidraulik dengan penambahan *submerge sediment trap* dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengendalikan kecepatan aliran air dan sedimentasi.

Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Melakukan pemodelan jangka panjang untuk mengevaluasi efektivitas dari *submerged sediment trap* dalam beberapa tahun.
2. Memasukan pekerjaan *dredging* untuk melihat pengaruh kegiatan dredging pada sedimentasi
3. Optimasi peletakan *submerged sediment trap* untuk mendapat kapasitas maksimum.
4. Mensimulasikan pengaruh iklim seperti tahun basah, tahun kering, *La Nina*, atau *El Nino*

Ucapan Terima Kasih

Kami menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang terlibat. Demikian pula kami menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya untuk pihak PJT I untuk penyediaan data-data yang diperlukan dalam penulisan makalah ini.

Daftar Referensi

- Adongo, T., Kyei-Baffour, N., Abalage, & Agyare, W. (2019). Assessment of Reservoir Sedimentation of Irrigation Dams in Northern Ghana. *Lake and Reservoir Management*, 87-105.
<https://doi.org/10.1080/10402381.2019.1659461>
- Anton J., S. (2016). Reservoir Sedimentation. *Journal of Hydraulics Research*, 595-614. <https://doi.org/10.1080/00221686.2016.1225320>
- Chabalala. (2017). Determining the sources of sediment at different Areas of the Catchment: A Case Study of Welbedacht Reservoir, South Africa. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*.
- Madadi, M. R. (2022). Resrvoir Sedimenetation Management: A State-Of-The-Art Review. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*.
- Morris, G. L. (2020). Classification of management Alternatives to Combat Reservoir Sedimentation. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w12030861>

- Nda, M. (2020). Sustainable Sediment Management in Reservoirs; An Overview. Proceedings of the 5th NA International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, (pp. 1662-1671). Michigan.
- Nippon Koei Co., Ltd. Japan Water Agency. (2024). The Preparatory Survey for the Project for Sutami Dam Upgrading in the Brantas River Basin, Indonesia. Indonesia.
- Obialor, C. (2019). Reservoir Sedimentation: Causes, Effects and Mitigation. Internatioan Journal of Advance Academic Research, 5(10).
- Reseda, A. (2022). Protokol Prediksi Sedimentasi Waduk. Jakarta: UI Publishing.
- Sisinggih, D. (2021). Buku Ajar Sedimentasi Waduk. Malang: UB Press.
- Teguh, N. A. (2021). Analisis Kecenderungan Sedimentasi dalam Upaya Keberlanjutan Usia Guna Waduk Wonorejo. Jurnal Unsiyah, 9(2), 52-56.
- Wang, Z.-y. (2009). Strategies for Managing Resrvoir Sedimentation. International Journal of Sediment Researchg, 369-384. [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(10\)60011-X](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(10)60011-X)
- Young, G. (2006). United Nation's World Water Development Report. Ontario: Wilfrid Laurier University.