

Dampak Lingkungan dari Proses *Flushing* Waduk Mrica terhadap Kualitas Air di Hilir Sungai Serayu, Jawa Tengah

Fadhila Annisa Mawaddah^{1*}, Muhammad Sulaiman², Agus Prasetya³, dan Adhy Kurniawan²

¹Magister Ilmu Lingkungan Minat Teknologi untuk Pembangunan Berkelanjutan Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Indonesia; e-mail: dhilsdiyaaa@gmail.com

²Departemen Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada, Indonesia

³Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi sedimentasi di Waduk Mrica serta metode *flushing* sedimen melalui *drawdown culvert* (DDC). Fokus utama kajian ini adalah mengevaluasi dampak lingkungan *flushing* DDC terhadap kualitas air di wilayah hilir Sungai Serayu. Pendekatan studi kasus digunakan dengan mengintegrasikan metode deskriptif, kuantitatif, dan kualitatif. Validitas data kuantitatif diperkuat melalui analisis statistik, sementara data diperoleh melalui studi dokumentasi dengan memanfaatkan data sekunder dari berbagai instansi terkait seperti PT. PLN Indonesia Power, Perum Jasa Tirta I, serta mitra lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Waduk Mrica mengalami akumulasi sedimen yang signifikan dari waktu ke waktu. Hal ini menjadikan metode *flushing* DDC sebagai upaya teknis yang penting, namun juga berpotensi menimbulkan dampak lingkungan terutama pada ekosistem Sungai Serayu bagian hilir. Proses *flushing* sedimen Waduk Mrica melalui DDC menyebabkan lonjakan TSS dan kekeruhan, namun dampaknya hilang dalam 1–2 jam dan semakin berkurang seiring jarak dari titik *flushing*. Parameter TDS tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Pemantauan kekeruhan di *intake* Kaliori menunjukkan bahwa tingginya kekeruhan tidak hanya disebabkan oleh *flushing*, tetapi juga dipengaruhi oleh erosi tebing sungai, musim hujan, serta kejadian banjir dan longsor.

Kata kunci: Dampak, Sedimentasi, *Flushing Drawdown Culvert*, Kualitas Air, Waduk Mrica

ABSTRACT

This study aims to analyze sedimentation conditions in the Mrica Reservoir and the method of flushing sediment through a drawdown culvert (DDC). The primary focus of this study is to evaluate the environmental impact of DDC flushing on water quality in the downstream area of the Serayu River. A case study approach uses integrating descriptive, quantitative, and qualitative methods. The validity of quantitative data is strengthened through statistical analysis, while data obtained through documentation studies utilizing secondary data from various related agencies, such as PT. PLN Indonesia Power, Perum Jasa Tirta I, and other partners. The results of the study indicate that Mrica Reservoir experiences significant sediment accumulation over time. It makes the DDC flushing method an important technical measure, but it also has the potential to cause environmental impacts, particularly on the downstream Serayu River ecosystem. The sediment flushing process at Mrica Reservoir, conducted through DDC, causes a spike in TSS and turbidity. However, the impact disappears within 1–2 hours and decreases further with distance from the flushing point. The TDS parameter did not show a significant effect. Turbidity monitoring at the Kaliori intake indicated that high turbidity was not only caused by flushing but also influenced by riverbank erosion, the rainy season, and flood and landslide events.

Keywords: Impact, Sedimentation, *Flushing Drawdown Culvert*, Water Quality, Mrica Reservoir

Citation: Mawaddah, F. A., Sulaiman, M. Prasetya, A., dan Kurniawan, A. (2026). Dampak Lingkungan dari Proses *Flushing* Waduk Mrica terhadap Kualitas Air di Hilir Sungai Serayu, Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(3), 728-742, doi:10.14710/jil.24.3.728-742

1. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) Serayu merupakan salah satu sungai utama yang memiliki fungsi vital di wilayah Jawa Tengah, baik dari segi lingkungan maupun sosial ekonomi (Indrastata, 2024). Sungai

Serayu berasal dari kawasan Pegunungan Dieng dan mengalir melalui sejumlah kabupaten, yaitu Wonosobo, Banjarnegara, Purbalingga, Banyumas, hingga Cilacap, serta melewati pusat permukiman seperti Purwokerto, sebelum

akhirnya bermuara ke Samudera Hindia (Purnama, 2010). Sistem hidrologi di DAS ini dipengaruhi oleh pola curah hujan musiman dan kondisi topografi, dengan intensitas curah hujan tahunan di wilayah hulu mencapai sekitar 3.500 mm, sementara di bagian hilir berkisar antara 2.000 hingga 2.500 mm. Fluktuasi debit air sungai tergolong tinggi, yakni dapat melebihi 300 m³/detik saat musim hujan dan menurun di bawah 100 m³/detik ketika musim kemarau. Kontribusi dua anak sungai besar, yaitu Klawing dan Logawa, memperbesar volume aliran dan membawa material sedimen, khususnya dari lereng Gunung Slamet dan wilayah Purbalingga.

Wilayah hulu DAS Serayu menghadapi berbagai tantangan lingkungan yang kompleks, termasuk kebakaran hutan yang berdampak signifikan terhadap kestabilan ekosistem. Laporan *AntaraNews* Jateng (2012) mencatat peristiwa kebakaran di kawasan Petarangan, Dieng, yang meluas dari Kabupaten Batang ke Banjarnegara akibat kekeringan ekstrem dan keterbatasan sumber air. Pemadaman dilakukan secara manual oleh BPBD dan masyarakat (Sumarwoto, 2012). Kebakaran kembali terjadi pada tahun 2019 dan menghancurkan sekitar

46 hektare lahan menurut laporan *detikNews* (Hartono, 2019). Hilangnya vegetasi akibat kebakaran berimplikasi langsung pada berkurangnya perlindungan tanah dari erosi dan penurunan kemampuan lahan menyerap air. Selain meningkatkan sedimentasi ke sungai dan waduk, abu dan partikel tanah dari area terdampak turut mencemari kualitas air di bagian hilir DAS.

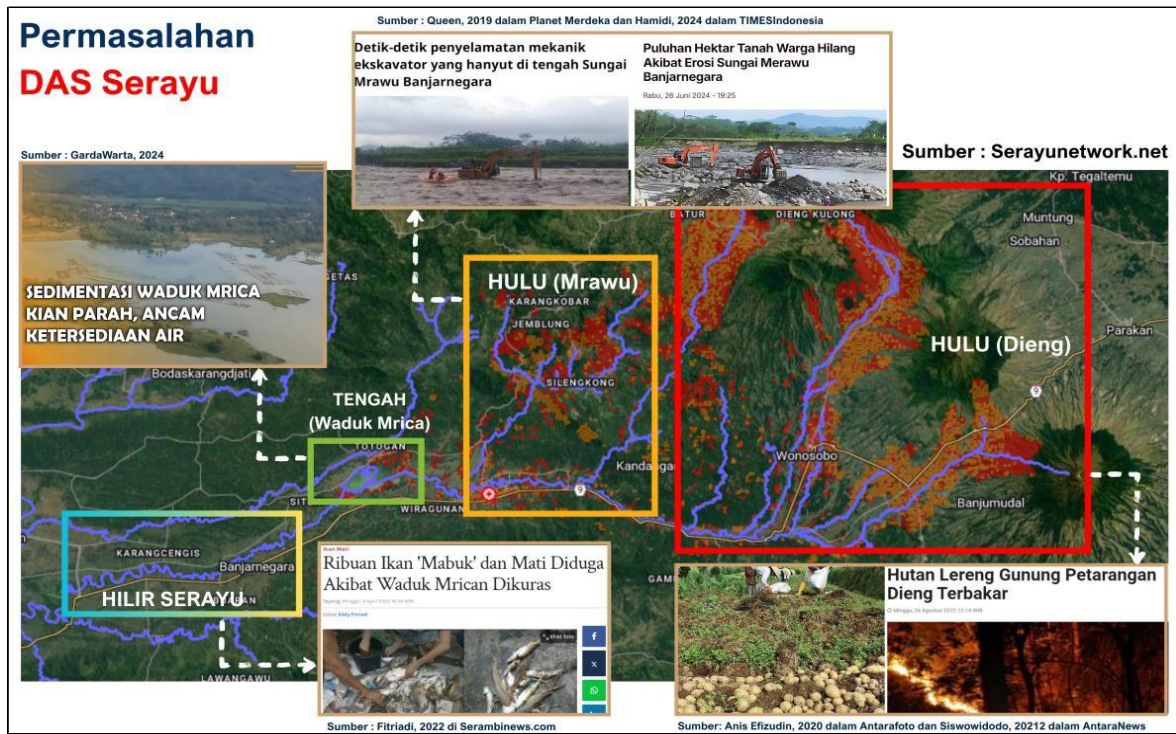
Di sisi lain, bencana hidrometeorologi seperti banjir dan tanah longsor juga sering terjadi di kawasan hulu. Salah satu kejadian besar tercatat pada 9 Februari 2022 di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo, yang mengakibatkan gangguan akses jalan provinsi, kerusakan rumah warga, dan saluran irigasi akibat curah hujan ekstrem di Pegunungan Dieng (Bramantyo, 2022). Berdasarkan penelitian Imawan dkk. (2024), pemodelan erosi menggunakan metode RUSLE menunjukkan bahwa wilayah hulu DAS, terutama Banjarnegara, Wonosobo, dan Purbalingga, mengalami tingkat erosi tinggi, yakni di atas 40 ton/hektar/tahun, disebabkan oleh kemiringan lahan yang curam. Data dari *SerayuNetwork* (2024), yang dihimpun dari PT. Indonesia Power, turut memperkuat temuan tersebut. Penyebab utama tingginya erosi ini antara lain adalah praktik budidaya tanaman hortikultura secara intensif, terutama tanaman semusim seperti kentang dan kubis, yang belum disertai upaya konservasi tanah seperti penerapan sistem terasering (Purnama, 2010).

Di bagian tengah DAS, permasalahan utama yang muncul adalah akumulasi sedimen di Waduk Mrica yang terletak di Banjarnegara. Waduk ini telah beroperasi sejak tahun 1989 dan dikelola oleh PT. PLN Indonesia Power, dengan umur desain hingga

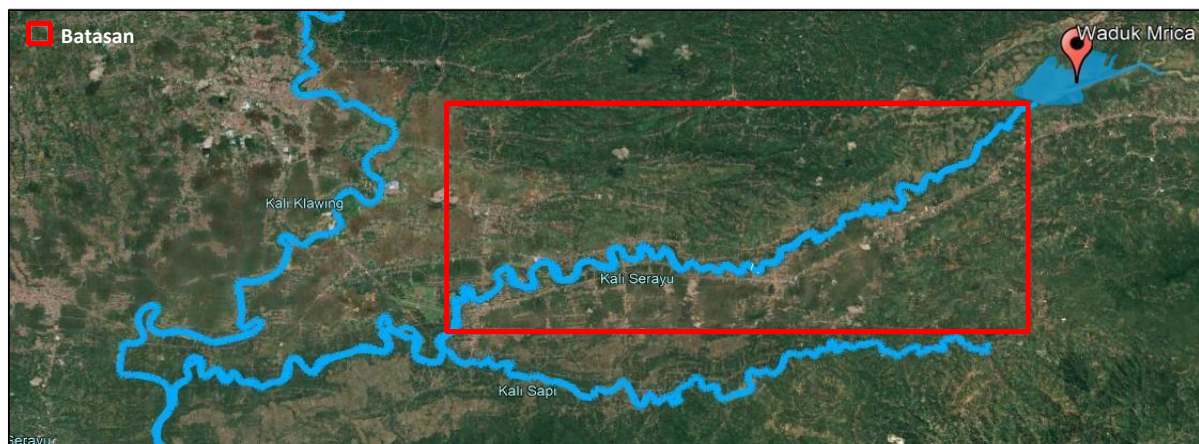
tahun 2049 (Utomo, 2017). Waduk Mrica berperan penting sebagai penyedia air irigasi dan pembangkit listrik. Namun, pengendapan material sedimen dari wilayah hulu mengakibatkan penurunan daya tampung waduk secara signifikan (PT. PLN Indonesia Power, 2021). Salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi sedimentasi adalah penggelontoran atau *flushing* melalui saluran *drawdown culvert* (DDC). Walaupun secara teknis dapat menurunkan volume sedimen, proses ini berisiko menimbulkan dampak ekologis terhadap perairan di hilir jika tidak dikelola secara hati-hati, terutama karena tingginya konsentrasi lumpur yang terbawa selama proses tersebut berlangsung.

Dampak dari proses *flushing* tersebut tercermin dalam kejadian ekologis di hilir DAS. Pada 1 April 2022, terjadi kematian massal ikan di wilayah Sungai Serayu Desa Kalisube, Banyumas. Peristiwa ini, menurut laporan Fitriadi (2022), diduga terjadi akibat masuknya lumpur dari hulu dan sedimen dari Waduk Mrica ke badan sungai. Uji kualitas air yang dilakukan tidak menemukan jejak limbah beracun, tetapi menunjukkan peningkatan kadar kekeruhan dan perubahan parameter kimia air. Menurut Zain & Teuku (2022), rendahnya kandungan oksigen terlarut serta tingginya kadar nitrat, yang berasal dari pupuk dan sedimen pertanian, menjadi penyebab utama kematian ikan. Selain itu, kadar amonia yang tercatat mencapai 2,6 mg/l, jauh melebihi batas ambang 0,5 mg/l (Rahadi, 2022; Zain & Teuku, 2022). Bambang Purwadi dari Dinas Perikanan menyatakan bahwa amonia ini berasal dari sedimen yang terbawa selama *flushing*. PT. PLN Indonesia Power telah menyampaikan permintaan maaf dan menyatakan komitmen untuk meninjau ulang prosedur operasi agar kejadian serupa tidak terulang (Zain & Robertus, 2022). Peneliti BRIN, Dr. Fauzan Ali, juga menggarisbawahi bahwa peningkatan bahan organik di perairan akibat akumulasi sedimen dapat memperparah kondisi rendahnya oksigen dan tingginya amonia yang memicu kematian organisme akuatik (Prihatini dkk., 2022).

Berbagai permasalahan dari hulu hingga hilir (Gambar 1) menunjukkan adanya keterkaitan sistemik dalam pengelolaan DAS Serayu. Aktivitas di bagian hulu berimplikasi langsung terhadap kualitas air dan ekosistem di hilir, terutama akibat praktik pertanian tanpa konservasi serta kebakaran hutan yang menyebabkan peningkatan laju erosi dan sedimentasi. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi relevan dan mendesak untuk dilakukan, guna mengkaji pengaruh kegiatan *flushing* terhadap kualitas air Sungai Serayu serta dampaknya terhadap ekosistem perairan dan kehidupan masyarakat setempat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi perumusan strategi pengelolaan sedimen Waduk Mrica yang lebih berkelanjutan, holistik, dan ramah lingkungan.



Gambar 1. Permasalahan DAS Serayu



Gambar 2. Lokasi Penelitian

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus dengan menggabungkan metode deskriptif kuantitatif dan kualitatif, serta menerapkan analisis statistik untuk memperkuat validitas data kuantitatif yang diperoleh.

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di hilir Sungai Serayu, setelah Waduk Mrica dan sebelum menerima kontribusi aliran dari anak-anak sungai (Gambar 2).

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi laptop untuk pengolahan dan analisis data, perangkat lunak *WPS Office* untuk analisis deskriptif dan grafik, *IBM SPSS Statistics* untuk analisis statistik, serta *Google Earth* untuk visualisasi lokasi. Gambar, peta, dan dokumen penunjang lainnya digunakan sebagai bahan interpretasi spasial dan visualisasi data. Bahan

yang digunakan berupa data sekunder dari instansi terkait, yang mencakup data historis sedimentasi Waduk Mrica, data operasional proses *flushing*, serta data kualitas air di hilir Sungai Serayu pada saat pelaksanaan *flushing*. Selain itu, bahan pendukung lainnya seperti literatur ilmiah, laporan teknis, dan dokumen kebijakan digunakan sebagai referensi.

2.3. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui metode dokumentasi dengan memanfaatkan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait, seperti PT. PLN Indonesia Power sebagai pengelola Waduk Mrica, PT. Wahana Prakarsa Utama sebagai konsultan, dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Provinsi Jawa Tengah.

2.4. Analisis Penyajian Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif dan

statistik. Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi sedimentasi, karakteristik material sedimen, serta tren perubahan parameter kualitas air yang diolah menggunakan *Microsoft Excel* dalam bentuk tabel dan grafik. Analisis statistik dilakukan dengan *IBM SPSS Statistics* untuk menguji hubungan dan pengaruh kegiatan *flushing* melalui *drawdown culvert* (DDC) terhadap perubahan kualitas air di hilir Sungai Serayu. Uji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk* dilakukan untuk memastikan distribusi data normal sebelum analisis parametrik. Hubungan antara TSS dan kekeruhan dianalisis menggunakan Korelasi *Pearson* dengan nilai koefisien (r) antara -1 hingga $+1$. Nilai positif menunjukkan hubungan searah, negatif menunjukkan hubungan berlawanan arah. Hasil dinyatakan signifikan jika $\text{Sig. (2-tailed)} < 0,05$. Selanjutnya, *Paired Sample T-Test* digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata dua pengukuran berpasangan, seperti kondisi sebelum dan sesudah *flushing*. Hasil uji diinterpretasikan signifikan jika $\text{Sig. (2-tailed)} < 0,05$. *Independent Samples T-Test* diterapkan untuk membandingkan rata-rata dua kelompok independen. Keputusan didasarkan pada nilai *Levene's Test* untuk kesamaan varians dan nilai $\text{Sig. (2-tailed)} < 0,05$ menunjukkan perbedaan yang signifikan. Uji *One-Way ANOVA* digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan rata-rata antar lebih dari dua kelompok. Jika nilai $p < 0,05$, berarti terdapat perbedaan signifikan, dan dilanjutkan dengan uji *Tukey HSD* untuk mengetahui kelompok mana yang berbeda secara nyata. Seluruh uji dilakukan dengan taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$) sebagai dasar penentuan hasil yang bermakna secara statistik (Morgan *et al.*, 2004; Landau & Brian, 2004).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Sedimentasi Waduk Mrica

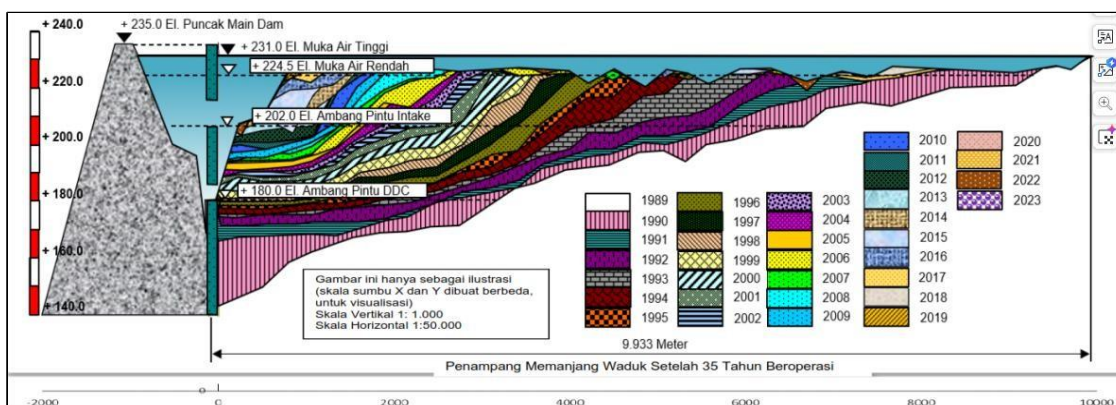
Kondisi sedimentasi Waduk Mrica dari tahun 1989 sampai 2023 (Gambar 3) menunjukkan visualisasi tren kumulatif sedimen tahunan, baik yang mengendap di bawah maupun di atas efektif *storage* (PT. PLN Indonesia Power, 2023). Dari visualisasi akumulasi sedimen tersebut, terlihat

bahwa kapasitas tampungan Waduk Mrica hampir dipenuhi oleh sedimen. Hal ini memungkinkan perhitungan perbandingan volume sedimen terhadap total kapasitas waduk untuk mengetahui persentase air dan sedimen di dalamnya.

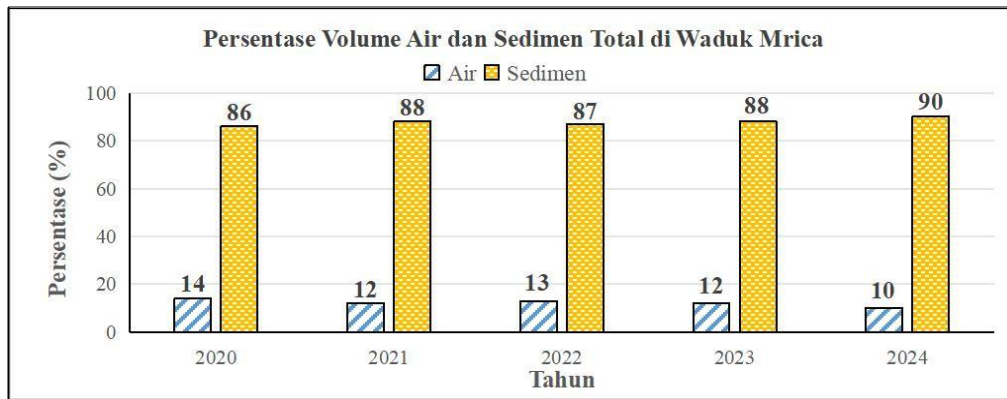
Waduk Mrica memiliki kapasitas tampungan sebesar 148,29 juta m^3 . Pada tahun 2023, volume kumulatif sedimen yang telah mengendap mencapai 130,30 juta m^3 , yang berarti sekitar 88% dari volume waduk telah terisi sedimen, sehingga hanya tersisa 12% ruang untuk menampung air. Persentase ini sangat penting dalam menilai sejauh mana fungsi waduk telah terdegradasi. Pada tahun 2024, volume kumulatif sedimen di waduk telah mencapai 90% dari kapasitas awalnya (Gambar 4).

3.2. Proses *Flushing Drawdown Culvert* (DDC) Waduk Mrica

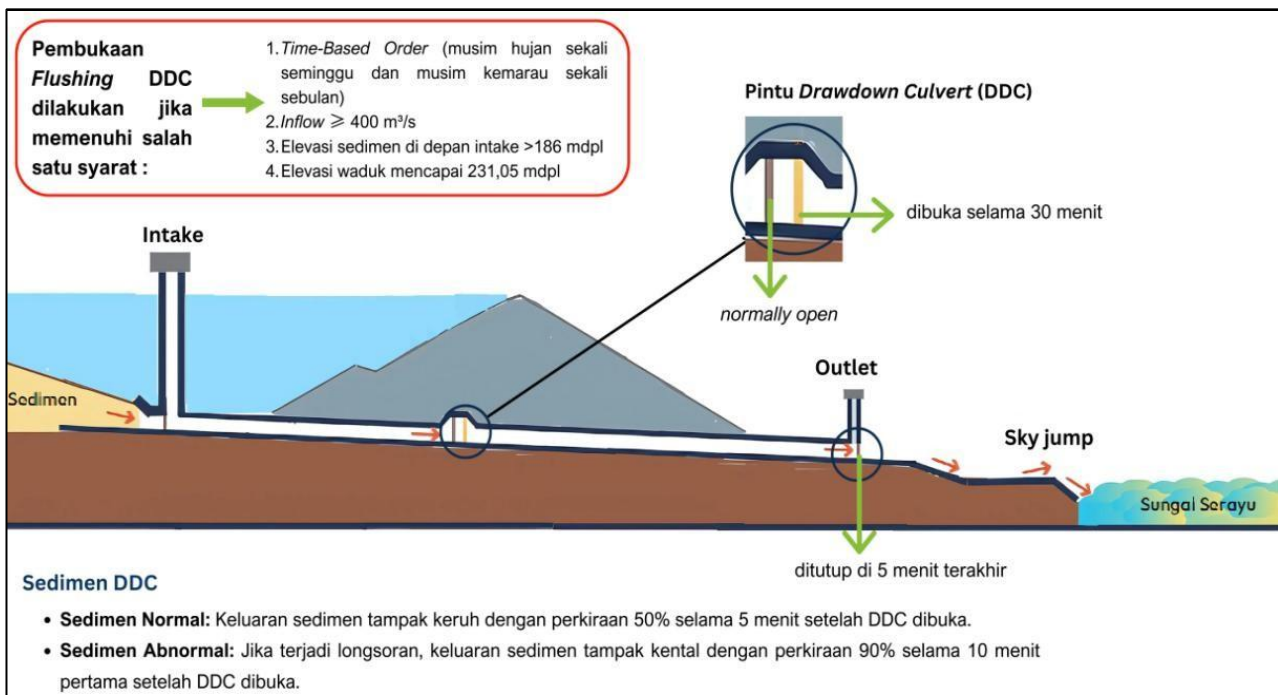
Flushing melalui *drawdown culvert* (DDC) merupakan fasilitas saluran pengeluaran bawah pada bendungan yang dapat dibuka untuk membuang air beserta sedimen. Proses *flushing* melalui DDC ini bertujuan untuk mempertahankan efektif *storage* dan *trap efficiency* waduk sehingga dapat mencapai umur layanan waduk sesuai rencana. Namun, efektivitasnya dipengaruhi oleh faktor hidrodinamika dan kondisi hidrologi saat pelaksanaan. Proses pelaksanaan *flushing* DDC Waduk Mrica (Gambar 5) dilakukan sesuai dengan instruksi kerja IK.MRC.05.02.11 (PT. PLN Indonesia Power, 2024). Sebelum pembukaan pintu DDC guna manajemen sedimen, unit pembangkit dalam kondisi beroperasi dengan beban penuh atau sesuai dengan kondisi pola pengoperasian unit sesuai dengan "Matriks Pembukaan DDC" serta tinggi elevasi muka air waduk lebih dari 228.00 mdpl. Matriks pembukaan DDC dibuat untuk menjaga baku mutu air di daerah hilir dengan kekeruhan diharapkan dibawah 3000 NTU untuk PDAM beroperasi, total *outflow* maksimal tidak melebihi 1000 m^3/s untuk mencegah banjir dihilir dan kejadian kematian ikan (PT. PLN Indonesia Power, 2024).



Gambar 3. Visualisasi Kondisi Sedimentasi Waduk Mrica (PT. PLN Indonesia Power, 2023)



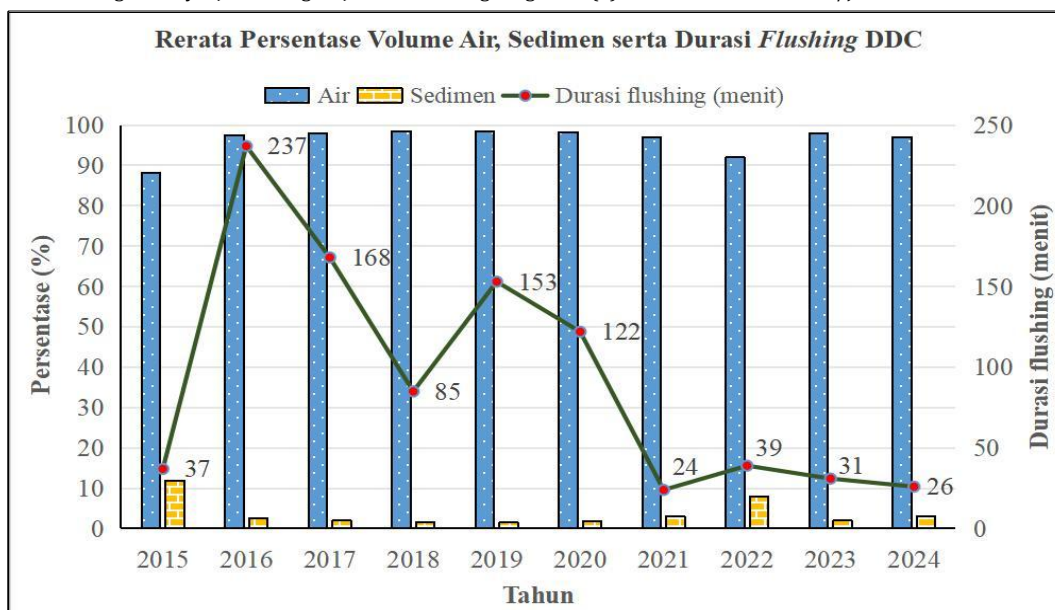
Gambar 4. Persentase Volume Air dan Sedimen Total di Waduk Mrica Tahun 2020-2024

Gambar 5. Proses *Flushing* DDC Waduk Mrica menurut IK.MRC.05.02.11

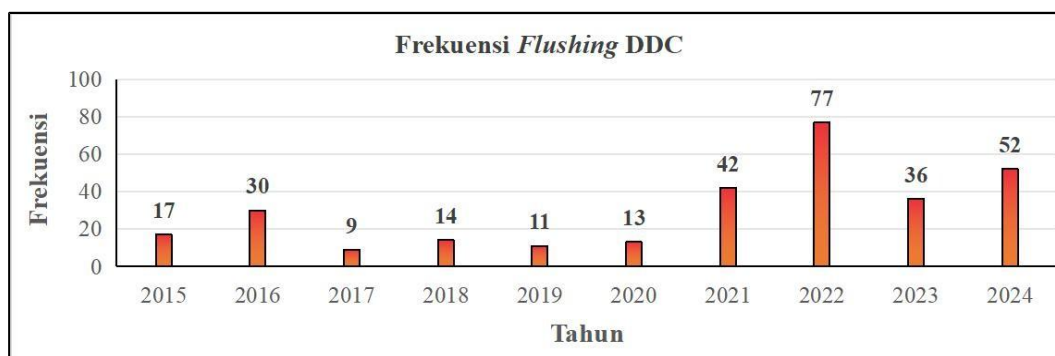
Rekapitulasi pelaksanaan *flushing* melalui DDC dari tahun 2015 hingga 2024 (Gambar 6) menunjukkan variasi dalam volume air dan sedimen yang dikeluarkan serta durasi pelaksanaannya. Selama proses *flushing*, material yang terbuang melalui *flushing* melalui DDC secara dominan berupa air, dengan persentase yang sangat tinggi yaitu antara 88% hingga 98%. Sebaliknya, kandungan sedimen dalam campuran tersebut relatif kecil, berkisar antara 1,5% hingga 12%. Jika dilihat lebih rinci, tren menunjukkan bahwa *flushing* dengan durasi yang lebih singkat di bawah 40 menit cenderung menghasilkan konsentrasi sedimen yang lebih tinggi, seperti yang terlihat pada *flushing* berdurasi 37 menit dengan kandungan sedimen sebesar 11,92%. Di sisi lain, *flushing* berdurasi lebih lama, seperti 168, 153, hingga 237 menit justru

menghasilkan air dengan kandungan sedimen yang jauh lebih rendah, rata-rata di bawah 2,5%.

Pada fase awal pelaksanaan *flushing*, volume air yang masuk ke *bottom outlet* akan langsung mengalirkan lapisan sedimen yang lebih pekat dan terakumulasi di bagian bawah waduk, terutama di sekitar intake DDC. Oleh karena itu, pada menit pertama *flushing*, aliran cenderung membawa suspensi dengan konsentrasi sedimen yang tinggi. Seiring berjalannya waktu, lapisan sedimen akan mulai menipis atau bahkan habis terangkat, sehingga air yang mengalir kemudian berasal dari lapisan atas yang lebih jernih. Hal ini menjelaskan mengapa *flushing* berdurasi lebih lama justru menghasilkan volume air yang tinggi dengan kandungan sedimen yang semakin kecil. Dari sisi teknis, fenomena ini memiliki implikasi penting terhadap efisiensi operasional *flushing*.



Gambar 6. Rekapitulasi *Flushing* Waduk Mrica melalui DDC Tahun 2015-2024



Gambar 7. Frekuensi *Flushing* Waduk Mrica melalui DDC Tahun 2015-2024

Jika tujuan utama *flushing* adalah untuk mengurangi akumulasi sedimen di dasar waduk, maka pelaksanaan yang terlalu lama dapat menjadi tidak efisien, karena pada fase akhir hanya mengangkut air dengan kandungan sedimen yang sangat rendah. Sementara itu, pelaksanaan *flushing* berdurasi pendek ternyata mampu menghasilkan konsentrasi sedimen yang hampir sama dengan *flushing* berdurasi panjang. Untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif mengenai strategi pengelolaan sedimen melalui *flushing*, analisis kemudian difokuskan pada aspek frekuensi *flushing* tahunan (Gambar 7).

Pada periode 2015-2016, terjadi peningkatan dari 17 menjadi 30 kali *flushing*, namun menurun drastis pada 2017 hanya sebanyak 9 kali. Frekuensi kembali naik bertahap pada 2018 dan 2019 masing-masing 14 dan 11 kali, lalu relatif stabil di angka belasan pada 2020 dan meningkat tajam mulai 2021. Puncak frekuensi terjadi pada tahun 2022 dengan 77 kali pelaksanaan *flushing*, sebelum menurun menjadi 36 kali pada 2023 dan naik kembali menjadi 52 kali pada 2024. Pada tahun-tahun awal, *flushing* dilakukan dengan durasi panjang tetapi frekuensi lebih rendah, sedangkan dalam beberapa tahun terakhir, *flushing* dilakukan lebih sering dengan durasi yang lebih pendek. Strategi ini bertujuan

untuk mengurangi dampak lingkungan di hilir dengan menghindari lonjakan sedimen yang terlalu besar dalam satu waktu. Pendekatan tersebut sejalan dengan temuan Cattaneo *et al.* (2021), yang menunjukkan bahwa operasi *flushing* waduk secara terkontrol dapat membatasi konsentrasi sedimen tersuspensi dan mengurangi dampak ekologis terhadap ikan di hilir sungai.

Meskipun frekuensi *flushing* meningkat, volume sedimen yang terbangun tetap rendah sehingga efisiensinya menurun dibanding periode awal yang berdurasi lebih panjang. Studi Fitriana Galuh (2024) menunjukkan efektivitas *flushing* di Waduk Mrica turun dari rata-rata 0,61 (2012-2014) menjadi 0,37 (2020-2023), mengindikasikan bahwa sistem DDC belum berjalan optimal. Penurunan ini mengindikasikan bahwa pelaksanaan *flushing* melalui sistem DDC di Waduk Mrica belum berjalan secara optimal.

3.3. Dampak Lingkungan Proses *Flushing Drawdown Culvert* (DDC) Waduk Mrica

Material sedimen Waduk Mrica terdiri dari material lempung dan lanau 80,5% dan pasir 19,5%, dengan kandungan besi mencapai 34.750 mg/kg dan silika 39 mg/kg dimanfaatkan dalam pembuatan *soil block* dan batu bata di Desa Pinggisari sebagai salah

satu kegiatan kerja sama di program pemberdayaan masyarakat Kampung Serayu Network.

3.3.1. Pengukuran Kekeruhan *Insitu* Sebelum dan Setelah Proses *Flushing Drawdown Culvert* (DDC) Waduk Mrica

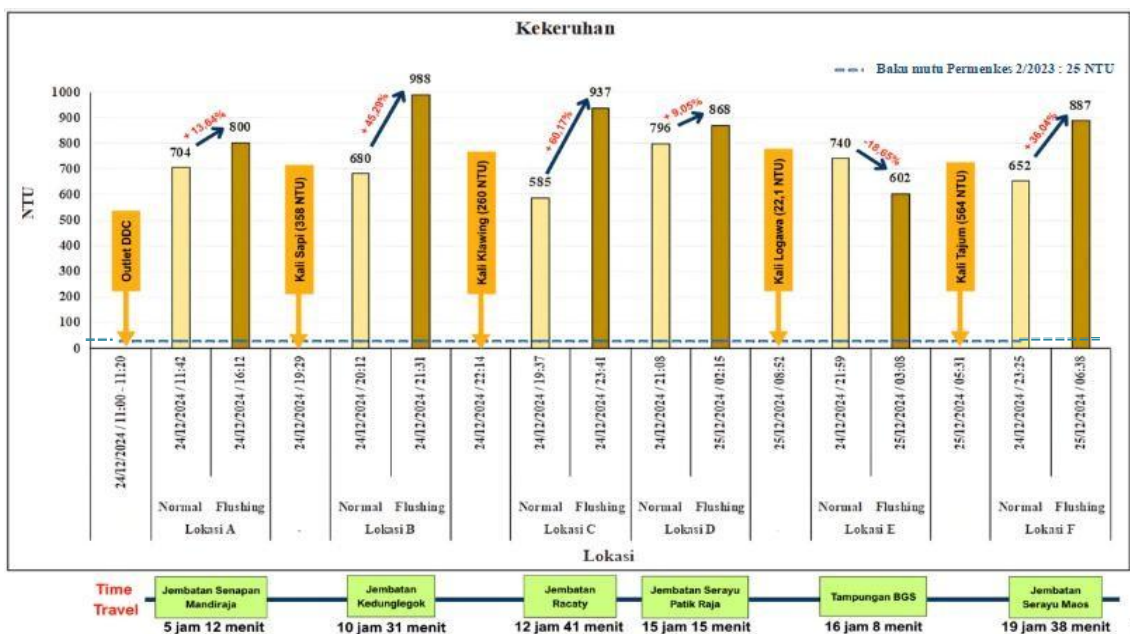
Kekeruhan merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengidentifikasi dampak dari proses *flushing* sedimen. Peningkatan kekeruhan di hilir Sungai Serayu setelah *flushing* melalui DDC mengindikasikan bahwa endapan di dasar waduk terbawa oleh arus selama proses *flushing* berlangsung. Pengukuran ini dilakukan secara *insitu* menggunakan Hach 2100Q Turbidimeter pada 24 dan 25 Desember 2024 di enam titik hilir Sungai Serayu (Gambar 8), meliputi Jembatan Senapan Mandiraja Banjarnegara sebagai Lokasi A, Jembatan Kedunglegok Banjarnegara sebagai Lokasi B, Jembatan Racaty Banyumas sebagai Lokasi C, Jembatan Serayu Patik Raja sebagai Lokasi D, Bendung Gerak Serayu sebagai Lokasi E dan Jembatan Serayu Maos sebagai Lokasi F.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai kekeruhan meningkat secara signifikan di sebagian besar lokasi setelah *flushing* DDC dibandingkan dengan kondisi normal sebelumnya. Pada Jembatan Senapan Mandiraja, kekeruhan meningkat dari 704 NTU menjadi 800 NTU, menunjukkan kenaikan sebesar 13,6%. Jembatan Kedunglegok Banjarnegara, kenaikan dari 680 NTU menjadi 988 NTU, atau sebesar 45,3%. Jembatan Racaty Banyumas, kenaikan dari 585 NTU menjadi 937 NTU, meningkat sebesar 60,2%. Jembatan Serayu Patik Raja, kenaikan dari 796 NTU menjadi 868 NTU, sebesar 9,0%. Bendung Gerak Serayu menunjukkan penurunan dari 740 NTU menjadi 602 NTU, yaitu sebesar -18,6%. Jembatan Serayu Maos, kenaikan dari 652 NTU menjadi 887 NTU, sebesar 36,0%. Dari data tersebut, terlihat bahwa hampir semua lokasi mengalami peningkatan

kekeruhan setelah *flushing*, kecuali Bendung Gerak Serayu yang justru menunjukkan penurunan.

Anak sungai berperan penting dalam mencampur aliran dan mempengaruhi kualitas air di hilir (Wuppukondur, 2018; Alizadeh & João, 2021). Di Lokasi B, setelah melewati Kali Sapi (358 NTU), kekeruhan meningkat dari 680 NTU menjadi 988 NTU (naik 45,3%) *pasca-flushing* Waduk Mrica. Meskipun Kali Sapi tidak ekstrem, nilainya tetap jauh di atas baku mutu (25 NTU), sehingga tidak mampu mengencerkan lonjakan kekeruhan. Kondisi serupa terjadi di Lokasi C, di mana Kali Klawing (260 NTU) menyebabkan peningkatan kekeruhan dari 585 NTU menjadi 937 NTU (naik 60,2%). Meskipun air anak sungai lebih jernih dibanding aliran utama, tingkat kekeruhannya tetap tinggi dan berkontribusi terhadap total beban sedimen. Di Lokasi F, setelah Kali Tajum (564 NTU), peningkatan kekeruhan lebih rendah, yakni 36% (dari 652 ke 887 NTU). Hal ini diduga disebabkan oleh durasi *time travel* yang panjang (± 19 jam 38 menit), sehingga sedimen sempat mengendap sebelum mencapai titik ini.

Untuk mengevaluasi perbedaan kekeruhan air sebelum dan saat *flushing* Waduk Mrica, dilakukan Uji *Paired T-Test* (Tabel 1). Hasilnya menunjukkan rata-rata kekeruhan meningkat dari 692,83 NTU menjadi 847,00 NTU, dengan simpangan baku masing-masing 72,7 dan 135,8. Korelasi antar kondisi bernilai -0,467 (signifikansi 0,351), menunjukkan hubungan negatif yang tidak signifikan. Uji *t* menghasilkan nilai $t = -2,080$ dengan signifikansi 0,092, yang berarti perbedaan tidak signifikan secara statistik pada taraf kepercayaan 95%. Namun, nilai signifikansi yang mendekati 0,05 menunjukkan kecenderungan peningkatan kekeruhan yang penting secara ekologis, sehingga tetap perlu diperhatikan dalam pengelolaan kualitas air Sungai Serayu saat *flushing* berlangsung.



Gambar 8. Hasil Kekeruhan *Insitu* di Hilir Sungai Serayu setelah *Flushing* DDC Waduk Mrica

Tingginya konsentrasi sebelum *flushing* DDC Waduk Mrica dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar, termasuk kerentanan fisik daerah aliran sungai. Berdasarkan hasil pemantauan, ditemukan bahwa erosi tebing sungai terjadi secara signifikan di berbagai titik yang tersebar di Kabupaten Banjarnegara, Banyumas, dan Cilacap, dengan total panjang erosi yang bervariasi antar lokasi (PT. Wahana Prakarsa Utama, 2024).

3.3.2. Pengukuran *Total Suspended Solid* (TSS), *Kekeruhan*, dan *Total Dissolved Solid* (TDS) Setelah Proses *Flushing Drawdown Culvert* (DDC) Waduk Mrica

Setelah diketahui adanya pengaruh *flushing* melalui *drawdown culvert* (DDC), langkah selanjutnya adalah mengetahui seberapa lama dampak tersebut berlangsung. Untuk itu, dilakukan pengukuran terhadap parameter fisik berupa *total suspended solid* (TSS) (Gambar 9), *kekeruhan* (Gambar 10), dan *total dissolved solid* (TDS) (Gambar 11). Pengambilan sampel dilakukan pada 17 dan 18 September 2024 di sembilan titik hilir Sungai Serayu meliputi di Jembatan Kali Serayu Banjarnegara sebagai Lokasi 1, Jembatan Senapan Mandiraja Banjarnegara sebagai Lokasi 2, Jembatan Kedunglegok Banjarnegara sebagai Lokasi 3, Jembatan Racaty Banyumas sebagai Lokasi 4, *Intake* PDAM Pegalongan Banyumas sebagai Lokasi 5, Tampungan Bendung Gerak Serayu Cilacap sebagai Lokasi 6, *Intake* PDAM Bendung Gerak Serayu Cilacap sebagai Lokasi 7, *Intake* Irigasi Bendung Gerak Serayu Cilacap sebagai Lokasi 8 dan *Intake* PDAM Kesugihan Cilacap sebagai Lokasi 9.

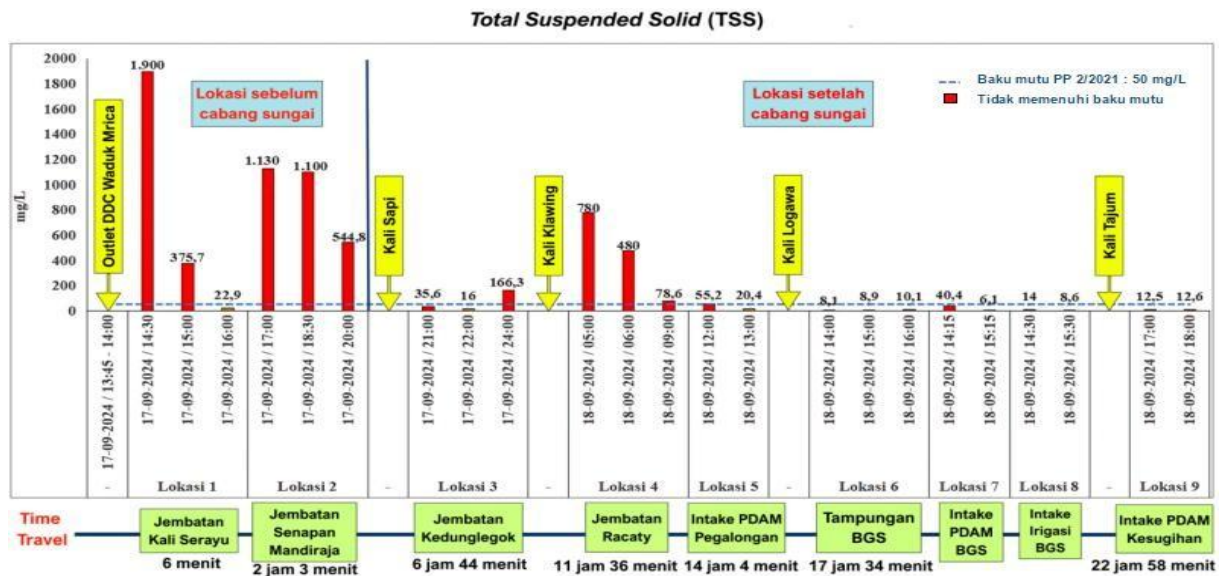
Hasil uji TSS menunjukkan lonjakan signifikan selama proses *flushing*. Di Lokasi 1, TSS mencapai puncak 1900 mg/L pada 17 September 2024 pukul 14.30 WIB, atau sekitar 40 kali lipat dari ambang batas baku mutu kelas II sebesar 50 mg/L menurut PP No. 22 Tahun 2021. Hal ini menunjukkan bahwa *flushing* melalui DDC sangat efektif mendorong

sedimen keluar dari dasar waduk. Namun, konsentrasi TSS menurun sangat cepat menjadi 375,7 mg/L dalam 30 menit, dan 22,9 mg/L satu jam setelahnya, akibat pengendapan partikel berat dan aliran deras (280 m³/detik) yang mempercepat transportasi sedimen ke hilir. Di Lokasi 3 (pukul 21.00 WIB), TSS turun menjadi 35,6 mg/L setelah ±6 jam 44 menit perjalanan, dipengaruhi oleh pengenceran dari aliran anak sungai Kali Sapi. Di Lokasi 4 (pukul 05.00 WIB), TSS sempat melonjak kembali hingga 780 mg/L karena kontribusi Kali Klawing, namun cepat menurun ke 78,6 mg/L dalam 5 jam. Ini menunjukkan adanya proses pengendapan dan pengenceran alami. Di lokasi 6 hingga 9, efek *flushing* tidak lagi signifikan karena jarak dari sumber dan pengenceran tambahan dari sungai lain (misalnya Kali Logawa dan Kali Tajum), sehingga TSS menjadi lebih stabil. Lonjakan TSS ini berdampak negatif pada ekosistem sungai, karena dapat menyumbat pori-pori dasar (Rehg *et al.*, 2005), merusak fungsi *hyporheic zone*, serta menurunkan produksi oksigen bentik dan pertukaran *hyporheic* (Hartwig *et al.*, 2012).

Selain itu, aliran sedimen yang tinggi mempengaruhi insang ikan hingga menyebabkan kematian, sementara penurunan oksigen terlarut dan tingginya konsentrasi sedimen menurunkan tingkat kelangsungan hidup ikan. Durasi dan konsentrasi *flushing* menjadi faktor penting karena keduanya berhubungan langsung dengan tingkat kematian ikan (Baoligao *et al.*, 2013). Hal ini juga dikarenakan konsentrasi sedimen berlebih menimbulkan stres tinggi pada telur dan larva ikan, sehingga menurunkan area pemijahan hingga 95%, hampir sebanding dengan dampak banjir alami (93%). Dalam jangka panjang, hal ini berisiko mengurangi habitat pemijahan (Panthi *et al.*, 2022). Namun, penurunan TSS yang cepat menunjukkan bahwa dampak *flushing* bersifat sangat sementara, meskipun sesaat bisa cukup ekstrem.

Tabel 1. Uji *Paired T-Test* Uji *Kekeruhan Insitu*

		Statistik Sampel Berpasangan							
		Rata - Rata	N	Simpangan Baku		Standar Kesalahan Rata - Rata			
Pasangan 1	Kekeruhan_Normal	692.83	6	72.736		29.694			
	Kekeruhan_Flushing	847.00	6	135.835		55.454			
		Korelasi Sampel Berpasangan							
				N	Korelasi		Sig.		
Pasangan 1	Kekeruhan_Normal & Kekeruhan_Flushing			6	-0.467		0.351		
		Paired Samples Test							
		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Rata - Rata	Simpangan Baku	Standar Kesalahan Rata -Rata	Interval Kepercayaan 95% dari Perbedaan				
					Bawah	Atas			
Pasangan 1	Kekeruhan_Normal & Kekeruhan_Flushing	-154.17	181.57	74.124	-344.710	36.376	-2.08	5	0.092



Gambar 9. Hasil Uji TSS di Hilir Serayu Setelah Flushing DDC Waduk Mrica

Tabel 2. Hasil Korelasi Pearson untuk Uji TSS

Korelasi			
		Lokasi_Nomor	TSS
Lokasi_Nomor	Korelasi Pearson	1	-0.579**
	Sig. (2-tailed)		0.004
	N	23	23
TSS	Korelasi Pearson	-0.579**	1
	Sig. (2-tailed)	0.004	
	N	23	23

**Korelasi signifikan pada tingkat 0.01 (2-tailed)

Untuk memverifikasi hipotesis dan mendukung analisis deskriptif, dilakukan uji korelasi *Pearson* antara lokasi pengamatan dan nilai TSS (Tabel 2). Hasilnya menunjukkan hubungan negatif yang signifikan, dengan koefisien korelasi sebesar -0,579 dan nilai signifikansi (*p*) sebesar 0,004. Karena nilai *p* lebih kecil dari 0,01, maka korelasi ini signifikan pada tingkat kepercayaan 99%, sebagaimana ditandai dengan dua bintang (**). Korelasi negatif ini menunjukkan bahwa semakin jauh lokasi dari Waduk Mrica, nilai TSS cenderung menurun secara signifikan. TSS tertinggi ditemukan di lokasi hulu yang paling dekat dengan titik *flushing*, dan semakin berkurang di bagian hilir. Temuan ini konsisten dengan pola sebaran sedimen *pasca-flushing*, di mana partikel tersuspensi mengalami pengendapan atau pengenceran seiring bertambahnya jarak dan waktu. Dengan demikian, hasil korelasi ini memperkuat bahwa proses *flushing* melalui DDC Waduk Mrica menyebabkan lonjakan TSS di hulu yang menurun signifikan menuju hilir.

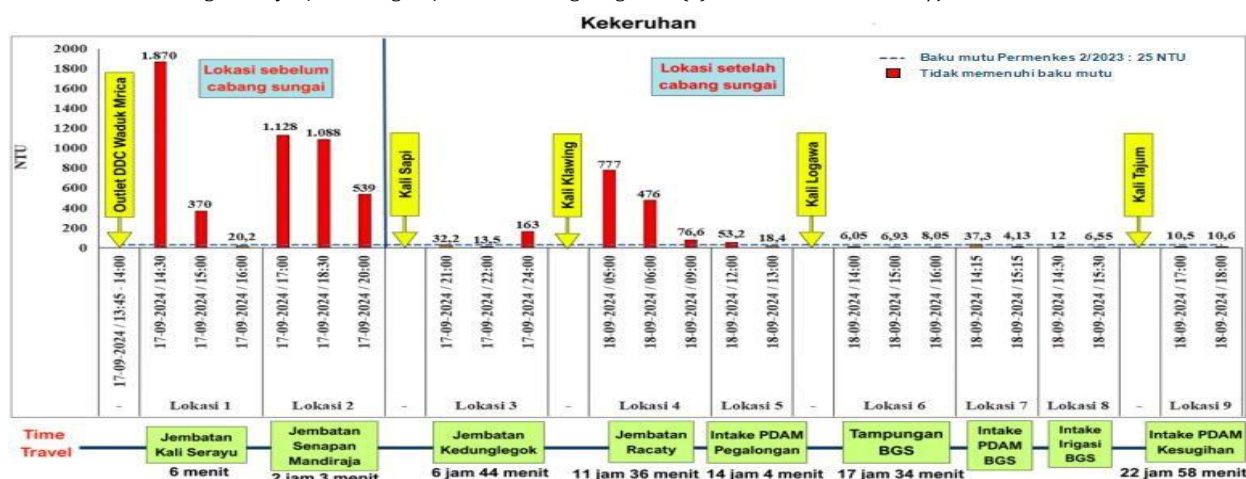
Hasil uji kekeruhan menunjukkan pola serupa dengan TSS, yaitu mengalami lonjakan signifikan setelah *flushing* DDC Waduk Mrica. Di Lokasi 1, pada pukul 14.30 WIB, kekeruhan mencapai 1.870 NTU, atau 75 kali lipat melebihi baku mutu kualitas air kelas II yang sebesar 25 NTU. Lonjakan ini disebabkan oleh pelepasan partikel tersuspensi seperti lumpur dan pasir halus saat pembukaan pintu air dasar. Nilai kekeruhan menurun cepat seiring waktu menjadi 370 NTU (pukul 15.00 WIB) dan 20

NTU (pukul 16.00 WIB), mengikuti pola penurunan TSS. Penurunan ini terjadi akibat pengendapan partikel besar dan dilusi oleh debit sungai. Meskipun durasinya singkat, lonjakan kekeruhan berdampak ekologis dan sosial, karena masyarakat enggan menggunakan air yang tampak keruh.

Analisis statistik dilakukan melalui uji korelasi *Pearson* untuk menguji hubungan antara lokasi dan nilai kekeruhan (Tabel 3). Hasilnya menunjukkan adanya korelasi negatif yang signifikan, dengan koefisien sebesar -0,580 dan nilai signifikansi 0,004.

Karena nilai signifikansi ini lebih kecil dari 0,01, maka hubungan tersebut signifikan pada tingkat kepercayaan 99%. Korelasi negatif ini menunjukkan bahwa semakin jauh lokasi dari Waduk Mrica, nilai kekeruhan cenderung menurun secara signifikan.

Berbeda dengan TSS dan kekeruhan, nilai TDS menunjukkan kestabilan selama *flushing* DDC Waduk Mrica, dengan rentang 100–160 mg/L, jauh di bawah baku mutu kelas II sebesar 1.000 mg/L. Stabilitas ini disebabkan karena *flushing* lebih banyak mengangkut material padat seperti pasir, lanau dan lempung, bukan zat terlarut. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen yang terbawa memiliki kandungan zat terlarut rendah. Meskipun tidak menunjukkan lonjakan, TDS tetap penting untuk pemantauan jangka panjang, karena kenaikan signifikan dapat mengindikasikan pencemaran limbah. Hasil ini menegaskan bahwa dampak utama *flushing* bersifat fisik dan mekanis, bukan kimiawi.

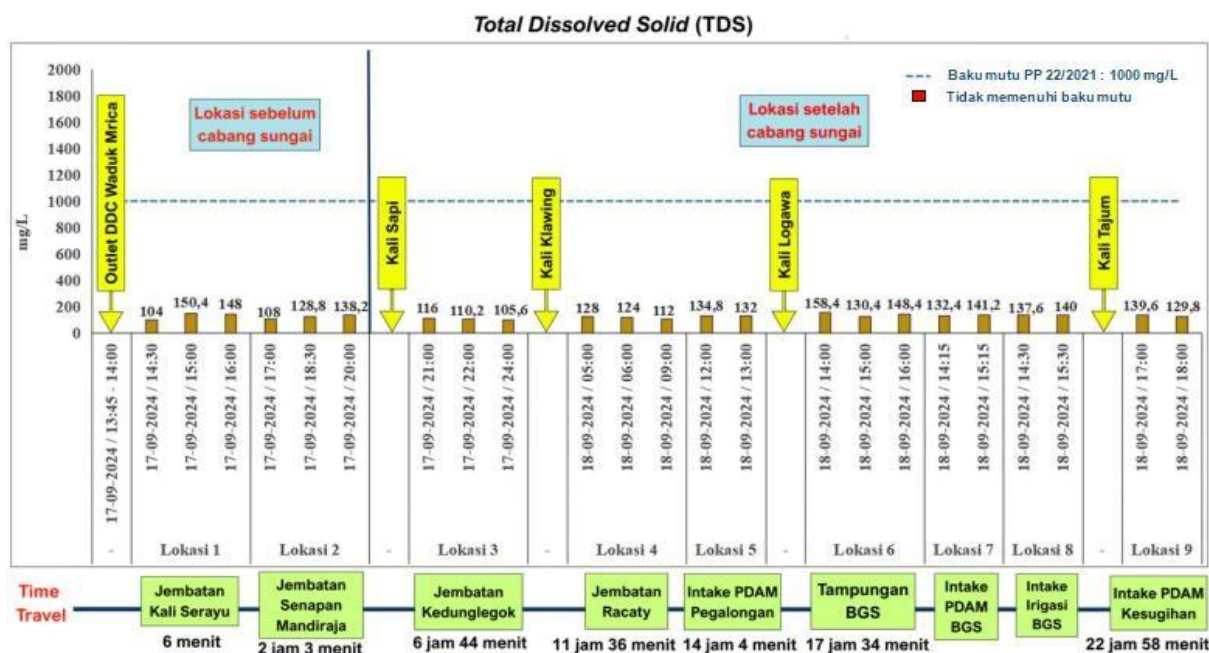


Gambar 10. Hasil Uji Kekeruhan di Hilir Sungai Serayu Setelah *Flushing* DDC Waduk Mrica

Tabel 3. Uji Korelasi *Pearson* Uji Kekeruhan

Korelasi			
Lokasi_Nomor	Korelasi Pearson		Kekeruhan
	Sig. (2-tailed)		
	N		
Kekeruhan	Korelasi Pearson		-0.580**
	Sig. (2-tailed)		0.004
	N		23

**Korelasi signifikan pada tingkat 0.01 (2-tailed)



Gambar 11. Hasil Uji TDS di Hilir Sungai Serayu Setelah *Flushing* DDC Waduk Mrica

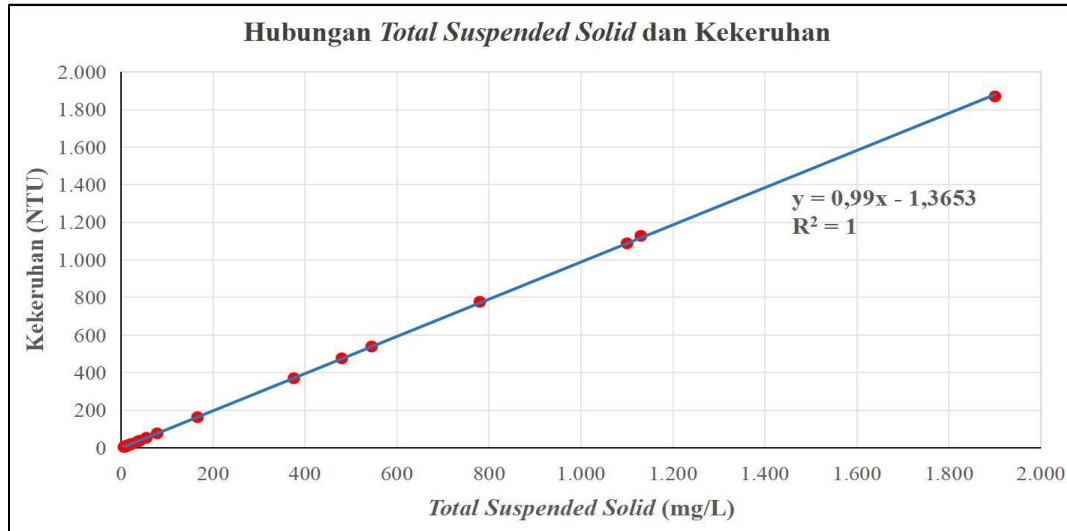
Hasil uji korelasi *Pearson* (Tabel 4) menunjukkan adanya hubungan positif antara jarak lokasi dan nilai TDS, dengan koefisien korelasi sebesar 0,370 dan signifikansi 0,083. Meskipun terdapat kecenderungan bahwa semakin jauh lokasi dari Waduk Mrica, konsentrasi TDS cenderung meningkat, namun nilai signifikansi yang melebihi 0,05 menunjukkan bahwa hubungan tersebut tidak signifikan secara statistik. Artinya, belum dapat disimpulkan secara meyakinkan bahwa jarak lokasi mempengaruhi variasi TDS.

Berdasarkan hasil uji ketiga parameter tersebut,

terdapat kesamaan tren antara grafik hasil pengukuran TSS dan kekeruhan. Untuk mengamati hubungan tersebut, dilakukan analisis regresi linier (Gambar 12) dan korelasi *Pearson* (Tabel 5) antara TSS dan kekeruhan. Hasilnya menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat antara kadar TSS dan tingkat kekeruhan air, dengan nilai $R^2 = 1$. Ini berarti bahwa 100% variasi nilai kekeruhan dapat dijelaskan oleh perubahan konsentrasi TSS, menunjukkan hubungan linier yang sempurna antara kedua parameter tersebut.

Tabel 4. Uji Korelasi *Pearson* Uji TDS

Korelasi			
		Lokasi_Nomor	TDS
Lokasi_Nomor	Korelasi Pearson	1	0.370
	Sig. (2-tailed)		0.083
	N	23	23
TDS	Korelasi Pearson	0.370	1
	Sig. (2-tailed)	0.083	
	N	23	23

**Gambar 12.** Hubungan antara TSS dan Kekeruhan**Tabel 5.** Uji Korelasi *Pearson* untuk TSS dan Kekeruhan

Korelasi			
		Kekeruhan	TSS
Kekeruhan	Korelasi Pearson	1	1.000**
	Sig. (2-tailed)		0.000
	N	23	23
TSS	Korelasi Pearson	1.000**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	
	N	23	23

**Korelasi signifikan pada tingkat 0.01 (2-tailed)

3.3.3. Pemantauan Kekeruhan di *Intake* Kaliori

Untuk memastikan bahwa kualitas air di hilir Sungai Serayu yang terdampak *flushing* Waduk Mrica tetap memenuhi standar kelayakan bagi pengolahan air bersih oleh PDAM, maka dilakukan pemantauan kekeruhan secara *time series* di salah satu titik pemantauan, yaitu *intake* Kaliori Kabupaten Banyumas (Gambar 13). Pengukuran kekeruhan ini dilakukan secara berkala selama satu tahun. Untuk mempermudah analisis antara kondisi saat *flushing* dan tanpa *flushing*, data dibagi berdasarkan waktu pengukuran. Waktu pengukuran dibagi menjadi tiga periode, yaitu pagi, siang, dan malam. Pada kondisi tanpa *flushing*, pola kekeruhan relatif stabil dan mayoritas nilainya berada di bawah 1000 NTU. Fluktuasi harian tetap ada, namun dalam skala yang lebih kecil dan cenderung tidak ekstrem. Dalam periode tersebut, hanya terdapat beberapa puncak nilai kekeruhan, seperti yang terjadi pada bulan Mei serta akhir November hingga Desember. Dari segi distribusi antar waktu pengukuran, kekeruhan di waktu siang hari lebih tinggi dibandingkan waktu lainnya, mengindikasikan kemungkinan adanya peningkatan aktivitas atau faktor lingkungan yang mempengaruhi nilai kekeruhan. Namun demikian,

secara keseluruhan, grafik ini mencerminkan kondisi aliran sungai yang masih dalam batas fluktuasi normal dan tidak menunjukkan gangguan besar pada kualitas air.

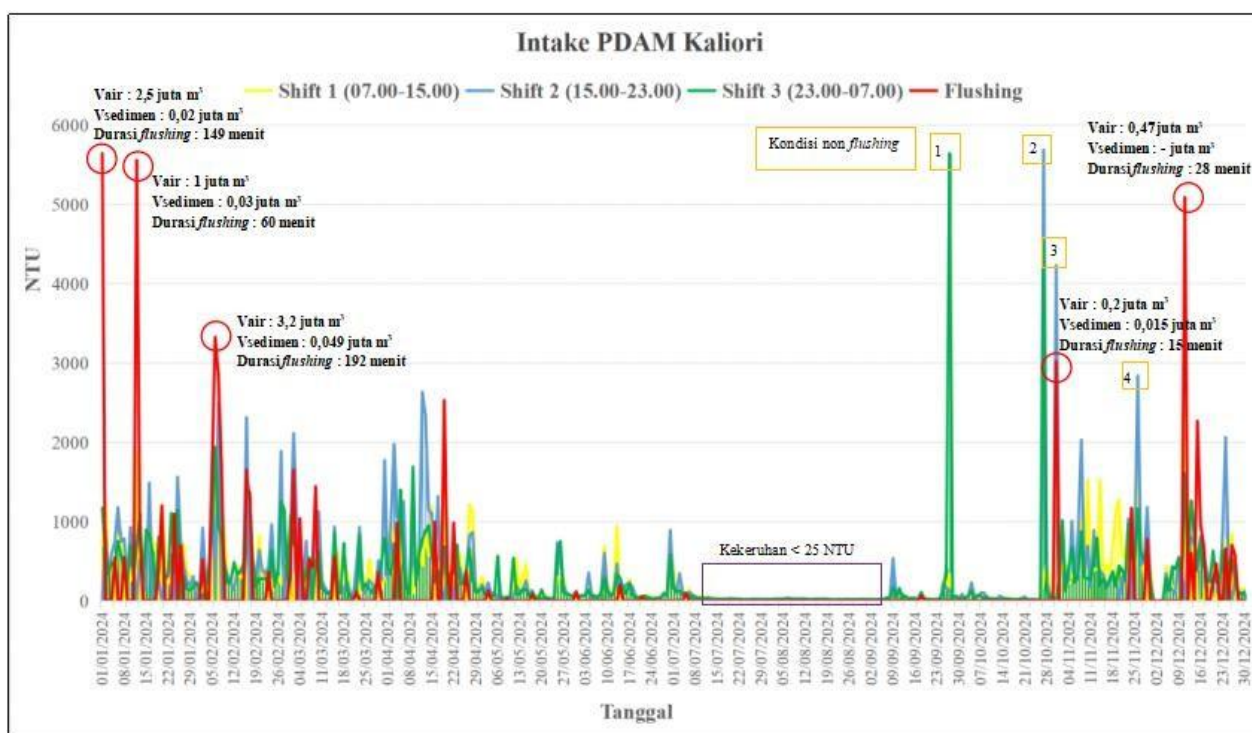
Sebaliknya, kondisi saat *flushing*, tren grafik lebih fluktuatif dan ekstrem. Hal ini terlihat dengan nilai kekeruhan yang sangat tinggi dengan lonjakan tajam di beberapa waktu pengukuran. Fenomena ini sejalan dengan temuan Espa *et al.* (2015) yang menjelaskan bahwa kegiatan *flushing* sedimen umumnya mengakibatkan peningkatan signifikan pada konsentrasi padatan tersuspensi dan kekeruhan di daerah hilir. Perbedaan ini terlihat dari *MEAN* kekeruhan berdasarkan kondisi *flushing* (Gambar 14a) dan musim (Gambar 14b).

Selain itu, adanya puncak kekeruhan yang cukup tinggi pada kondisi *non-flushing* di titik 1, 2, 3, dan 4 yang berada di sekitar *intake* Kaliori. Meskipun tidak ada kegiatan *flushing* Waduk Mrica pada saat itu, kekeruhan tetap mencapai nilai yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Serayu di wilayah tersebut juga sangat dipengaruhi oleh faktor lain, terutama kondisi cuaca dan aktivitas di daerah tangkapan air. Peristiwa tersebut tercatat terjadi pada musim hujan (Oktober – April), di mana

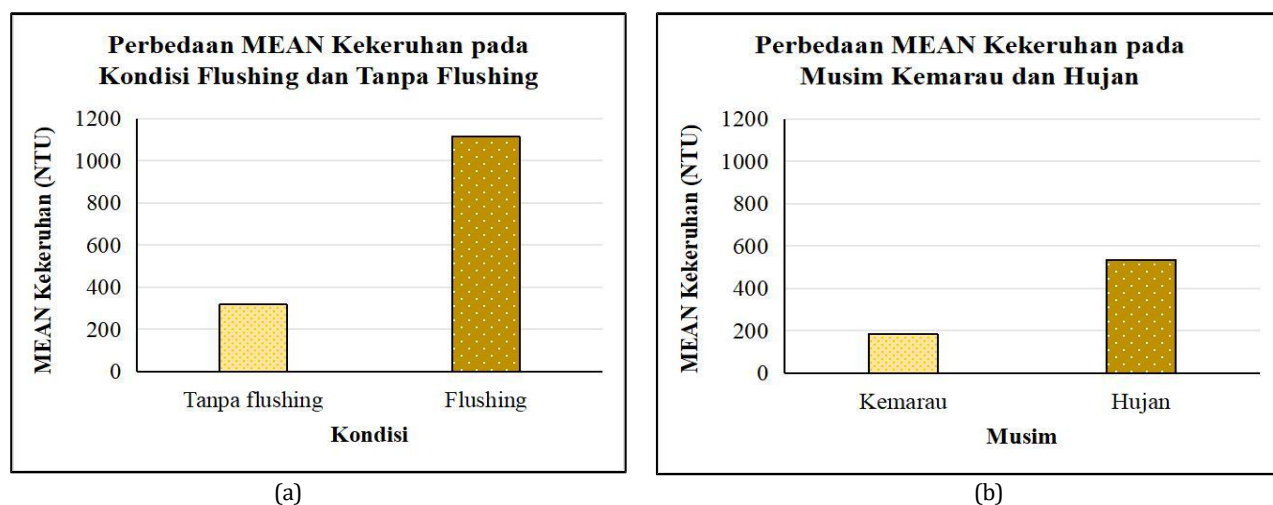
intensitas curah hujan tinggi meningkatkan aliran permukaan dan mempercepat erosi sepanjang tebing sungai. Material hasil erosi kemudian terbawa ke badan sungai dan menyebabkan lonjakan kekeruhan. Selain itu, data informasi dari BPBD (2024) terdapat adanya kejadian banjir dan tanah longsor pada waktu tersebut memperbesar volume sedimen yang masuk ke sungai. Aktivitas penambangan pasir (PT. Wahana Prakarsa Utama, 2024) di wilayah hulu *intake* juga turut memperburuk kondisi ini dengan meningkatkan beban tersuspensi di perairan.

Untuk memverifikasi hasil dan hipotesis penelitian dilakukan analisis statistik berupa uji *independent samples t-test* (Tabel 6 dan 7) dan *one-*

way ANOVA (Tabel 8). Uji *Independent Samples T-Test* pada kondisi *flushing* dan tanpa *flushing* menunjukkan bahwa rata-rata kekeruhan saat tanpa *flushing* adalah 317,56 NTU (SD = 516,85), sedangkan saat *flushing* meningkat tajam menjadi 1.113,25 NTU (SD = 1.270,08). Uji *Levene* menghasilkan $F = 73,561$ dan signifikansi 0,000, menandakan varians tidak homogen, sehingga digunakan baris *equal variances not assumed*. Hasil uji-t menunjukkan nilai $t = -4,708$ dengan $p\text{-value} < 0,001$, yang menunjukkan perbedaan signifikan. Selisih rata-rata sebesar -795,69 NTU menguatkan bahwa *flushing* meningkatkan kekeruhan hampir 800 NTU secara signifikan.



Gambar 13. Pemantauan Kekeruhan di *Intake* Kaliori Tahun 2024



Gambar 14. Perbedaan *MEAN* Kekeruhan pada Perbedaan Kondisi *Flushing* (a) dan Musim (b)

Tabel 6. Uji *Independent Samples T-Test* antara Kondisi *Flushing* dan Tanpa *Flushing*

Statistik Kelompok										
Kondisi		N	Rata - Rata		Simpangan Baku		Standar Kesalahan Rata - Rata			
Kekeruhan	Tanpa <i>flushing</i>	1036	317.56		516.846		16.058			
	<i>Flushing</i>	57	1113.25		1270.075		168.226			
Uji Independen Sampel										
		Uji <i>Levene</i> untuk Kesamaan Varians			Uji t untuk Kesamaan Rata-Rata					
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Selisih Rata-Rata	Selisih Standar Kesalahan	Selisih Interval Kepercayaan 95%	
									Bawah	Atas
Kekeruhan	Varians sama diasumsikan	73.561	0.000	-10.086	1091	0.000	-795.687	78.886	-950.473	-640.900
	Varians sama tidak diasumsikan			-4.708	57.025	0.000	-795.687	168.990	-1.134.080	-457.293

Tabel 7. Uji *Independent Samples T-Test* pada Musim Hujan dan Kemarau

Statistik Kelompok										
		Musim		N	Rata - Rata		Simpangan Baku		Standar Kesalahan Rata - rata	
Kekeruhan		Hujan		544	534.64		718.408		30.801	
		Kemarau		549	185.08		399.317		17.042	
Uji Independen Sampel										
		Uji Levene untuk Kesamaan Varians				Uji t untuk Kesamaan Rata-rata				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Selisih Rata-rata	Selisih Standar Kesalahan	Selisih Interval Kepercayaan 95% Bawah Atas	
Kekeruhan	Varians sama diasumsikan	59.822	0.000	9.954	1091	0.000	349.566	35.117	280.662	418.471
	Varians sama tidak diasumsikan			9.930	847.642	0.000	349.566	35.202	280.473	418.660

Tabel 8. Deskriptif Statistik untuk Kekeruhan *Intake* Kalori pada Masing - Masing Waktu Pengukuran

Deskriptif								
	N	Rata - Rata	Simpangan Baku	Standar Kesalahan	Rata-rata untuk Interval Kepercayaan 95%		Minimum	Maksimum
					Batas Bawah	Batas Atas		
Pagi	364	350.08	493.202	25.851	299.25	400.92	0	4598
Siang	364	419.35	771.037	40.413	339.88	498.83	0	5688
Malam	365	307.88	509.815	26.685	255.40	360.36	1	5644
Total	1093	359.06	605.997	18.330	323.09	395.03	0	5688
ANOVA								
			Jumlah Kuadrat	df	Rata-rata Kuadrat		F	Sig.
Antar Kelompok			2.308.726.280	2	1.154.363.140		3.156	0.043
Dalam Kelompok			398.709.405.570	1090	365.788.445			
Total			401.018.131.850	1092				
Perbandingan Kelompok								
Variabel terikat : Kekeruhan								
Tukey HSD								
(I) Waktu Pengukuran	(J) Waktu Pengukuran	Selisih Rata – Rata (I-J)		Standar Kesalahan	Sig.	Interval Kepercayaan 95%		
						Batas Bawah	Batas Atas	
Pagi	Siang	-69.271		44.831	0.270	-174.49	35.94	
	Malam	42.204		44.800	0.614	-62.94	147.35	
Siang	Pagi	69.271		44.831	0.270	-35.94	174.49	
	Malam	111.475*		44.800	0.035	6.33	216.62	
Malam	Pagi	-42.204		44.800	0.614	-147.35	62.94	
	Siang	-111.475*		44.800	0.035	-216.62	-6.33	

*Perbedaan rata-rata signifikan pada tingkat 0,05

Perbandingan *MEAN* kekeruhan antara musim hujan dan kemarau juga menunjukkan perbedaan yang signifikan. Nilai *Levene F* = 59,822 ($p = 0,000$) menunjukkan varians berbeda, dan uji-t dengan *equal variances not assumed* menghasilkan $t = 9,930$. Rata-rata perbedaan kekeruhan sebesar 349,57 NTU, dengan selang kepercayaan 95% antara 280,47 hingga 418,66 NTU. Hal ini menunjukkan bahwa kekeruhan air pada musim hujan secara konsisten lebih tinggi dibandingkan musim kemarau.

Selanjutnya, analisis *one-way ANOVA* menunjukkan adanya perbedaan kekeruhan antar *shift*, dengan nilai $p = 0,043$. Kekeruhan tertinggi tercatat pada *shift 2* (419,35 NTU), diikuti *shift 1* (350,08 NTU), dan terendah pada *shift 3* (307,88 NTU). Uji lanjut *Tukey HSD* menunjukkan perbedaan signifikan antara *shift 2* dan *shift 3* ($p = 0,035$), sementara perbedaan *shift* lainnya tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa waktu pengambilan sampel memengaruhi hasil kekeruhan, yang

cenderung meningkat pada sore hingga malam hari, sesuai dengan jadwal *flushing* yang biasa dilakukan pukul 13.00 WIB dan malam hari, dengan *time travel* berkisar antara 9 hingga 22 jam.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa hingga tahun 2024, Waduk Mrica telah terisi sedimen hingga 90%, menyebabkan pendangkalan dan penurunan daya tampung. Salah satu upaya penanganan adalah *flushing* melalui *Drawdown Culvert* (DDC), namun metode ini kurang efisien karena hanya mampu mengurangi sedimen sebesar 1,5%–12%. Proses *flushing* sedimen Waduk Mrica melalui DDC menyebabkan lonjakan TSS dan kekeruhan, namun dampaknya hilang dalam 1–2 jam dan semakin berkurang seiring jarak dari titik *flushing*. Parameter TDS tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Pemantauan kekeruhan di *intake* Kaliori menunjukkan bahwa tingginya kekeruhan tidak hanya disebabkan oleh *flushing*, tetapi juga dipengaruhi oleh erosi tebing sungai, musim hujan, serta kejadian banjir dan longsor.

DAFTAR PUSTAKA

- Alizadeh, L., & Fernandes, J. (2021). Turbulent Flow Structure in a Confluence: Influence of Tributaries Width and Discharge Ratios. *Water*, 13 (4): 465. <https://doi.org/10.3390/w13040465>
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah. 2025. *Kejadian banjir dan tanah longsor di wilayah Sungai Serayu*. Semarang: BPBD.
- Baoligao, B., Fengran, X., Xingru, C., Xiuying, W., and Wenxue, C. (2013). Impact of sediment flushing of Xiaolangdi Reservoir on downstream fish. *Journal of Hydraulic Engineering*, 43 (10), 1146-1153.
- Bramantyo, R. 2022. Banjir dan Longsor di Dieng Tutup Jalan Provinsi. Retrieved from <https://www.tvonenews.com/daerah/jateng/26912-banjir-dan-longsor-di-dieng-tutup-jalan-provinsi>.
- Cattaneo, F., Jean, G., Seydina, D., Jane, O. dan David, G. 2021. Mitigation of Ecological Impacts on Fish of Large Reservoir Sediment Management through Controlled Flushing – The Case of the Verbois Dam (Rhône River, Switzerland). *Science of The Total Environment*, 756 (144053), 1-12.
- Espa, P., Crosa, G., Gentili, G., Quadroni, S., and Petts, G. 2015. Downstream Ecological Impacts of Controlled Sediment Flushing in An Alpine Valley River: A Case Study. *River Res Appl*, 31 (8): 931-942.
- Fitriadi, E. 2022. Ribuan Ikan 'Mabuk' dan Mati Diduga Akibat Waduk Mrican Dikuras. Retrieved from <https://aceh.tribunnews.com/2022/04/03/ribuan-ikan-mabuk-dan-mati-diduga-akibat-waduk-mrican-dikuras>.
- Hartono, U. 2019. Kebakaran Hutan di Dieng Padam, 46 Hektare Lahan Hangus. Retrieved from <https://news.detik.com/berita-jawa-tengah/d-4757986/kebakaran-hutan-di-dieng-padam-46-hektare-lahan-hangus>.
- Hartwig, M., Philipp, T., Michael, R., and Dietrich, B. 2012. Suspended sediments in the Kharaa River catchment (Mongolia) and its impact on hyporheic zone functions. *Environ Earth Sci* 65, 1535–1546.
- Imawan, R., dan Pinem, A. P. R. 2024. Pemetaan Laju Erosi Menggunakan Metode RUSLE dan Google Earth Engine Pada DAS Serayu. *Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi)*, 8(3), 726-733.
- Indrastata, B.A.D., Suroso dan Ardiansyah. 2024. Deteksi Banjir pada Daerah Aliran Sungai Serayu Menggunakan Model Hidrologi SWAT (*Soil Water Assessment Tool*) Berdasarkan Data Curah Hujan Satelit Persiann. <https://konteks17.uniba-bpn.ac.id/index.php/konteks/article/download/197/197/279#:~:text=Daerah%20Aliran%20Sungai%20Serayu%20adalah,satu%20sumber%20pengairan%20bagian%20pertanian>.
- Landau, S., & Brian, S. E. (2004). *A Handbook of Statistical Analyses using SPSS*. Washington DC : CRC Press LLC.
- Morgan, G.A., Nancy, L.L., Gene, W. G., & Karen, C. B. (2004). *SPSS for Introductory Statistics Use and Interpretation*. London : Lawrence Erlbaum Associates.
- Panthi, M., Aaron, A. L. Sudesh, D., Amgad, O., Mario, J. F. and Alessandra. 2022. Effects of sediment flushing operations versus natural floods on Chinook salmon survival. *Sci Rep* 12: 15354. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19294-2>
- Prihatini, Z., dan Holy, K.N.S. (2022). Ahli Ungkap Penyebab Ribuan Ikan Mati di Danau Maninjau. Retrieved from <https://www.kompas.com/sains/read/2022/01/06/193100923/ahli-ungkap-penyebab-ribuan-ikan-mati-di-danau-maninjau?page=all>.
- Purnama, S. 2010. Potensi Sumberdaya Air DAS Serayu. *JRL*, 6 (3): 291-302.
- PT. PLN Indonesia Power. 2021. *Data Teknis Waduk PLTA PB Soedirman*. Banjarnegara: PT. PLN Indonesia Power.
- PT. Wahana Prakarsa Utama, Perum Jasa Tirta 1 dan PT. PLN Indonesia Power. 2024. Kajian Morfologi Sungai Dampak Pelepasan Sedimen Terhadap Kualitas Lingkungan di Hilir Bendungan PB Soedirman. Banjarnegara: PT. Wahana Prakarsa Utama, Perum Jasa Tirta 1 dan PT. PLN Indonesia Power.
- Rehg, K. J., Aaron, I. P., and Jianhong, R. 2005. Effects of suspended sediment characteristics and bed sediment transport on streambed clogging. *Hydrological Processes*, 19 (2): 413-427.
- SerayuNetwork. 2024. Peta dan Data Erosi Desa di DAS Serayu. Retrieved from <https://serayunetwork.net/>.
- Sumarwoto. 2012. Hutan Lereng Gunung Petarangan Dieng Terbakar. Retrieved from <https://jateng.antaranews.com/berita/66514/hutan-lereng-gunung-petarangan-dieng-terbakar>.
- Utomo, P. 2017. Mrica Reservoir Sedimentation: Current Situation and Future Necessary Management. *In Journal of the Civil Engineering Forum*, 3 (2).
- Wuppukondur, A. (2018). Review of Flow Hydrodynamics and Sediment Transport at Open Channel Confluences. *Civil Engineering Research Journal*, 5 (3): 1-8.
- Zain, F. M., dan Robertus, B. 2022. Setelah Ribuan Ikan Mati, Bupati Banyumas Minta Pengelola Waduk Mrica Pulihkan Biota Sungai Serayu. Retrieved from <https://regional.kompas.com/read/2022/04/08/113339278/setelah-ribuan-ikan-mati-bupati->

[banyumas-minta-pengelola-waduk-mrica.](#)

Zain, F. M. dan Teuku, M. V. A. 2022. Air Sungai Serayu
Mengandung Amonia Tinggi Sebabkan Ribuan
Ikan Mati. Retrieved from

<https://regional.kompas.com/read/2022/04/07/162256878/air-sungai-serayu-mengandung-amoniak-tinggi-sebabkan-ribuan-ikan-mati>.