

## **Analisa Laju Sedimentasi Volume Tampungan Waduk pada Bendungan Kelay Desa Long Beliu, Kecamatan Kelay, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur**

**Angga Novela Hendra Saputro<sup>1)</sup>, Nanang Saiful R.<sup>2)</sup>. Adhitya Surya M.<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup>Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember

email: [angganovela4@gmail.com](mailto:angganovela4@gmail.com)

email: [nanangsaifulrizal@unmuhjember.ac.id](mailto:nanangsaifulrizal@unmuhjember.ac.id)

email: [adhityasuryamanggala@unmuhjember.ac.id](mailto:adhityasuryamanggala@unmuhjember.ac.id)

### **Abstrak**

Bendungan Kelay di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur, merupakan infrastruktur vital yang menghadapi tantangan serius akibat sedimentasi, mengancam kapasitas tampungan dan efisiensinya. Penelitian ini bertujuan menganalisis laju sedimentasi pada volume tampungan waduk tersebut, dengan fokus pada perhitungan debit rencana dan estimasi volume sedimen yang masuk. Metode penelitian meliputi analisis hidrologi menggunakan software ArcGIS untuk delineasi DAS seluas 3167,693 km<sup>2</sup> dan penentuan curah hujan rencana dengan Hydrognomon (distribusi Log Pearson III), serta pemodelan debit banjir rencana menggunakan HEC-HMS (memilih HSS SCS). Untuk analisis sedimentasi, diterapkan Metode Equal Discharge Increment (EDI) untuk menghitung debit sedimen tersuspensi dan membangun kurva rating sedimen. Hasil penelitian menunjukkan debit puncak banjir yang signifikan pada berbagai kala ulang (misalnya, 5614,0 m<sup>3</sup>/detik untuk 100 tahun). Debit sedimen rata-rata Sungai Kelay selama 20 tahun adalah 407,24 ton/hari, menghasilkan estimasi volume sedimen sebesar 120.103,25 m<sup>3</sup>/tahun yang masuk ke waduk. Data ini menggarisbawahi urgensi pengelolaan sedimen untuk keberlanjutan fungsi bendungan.

**Keywords:** *Angkutan sedimen; Debit banjir; Hidrograf Satuan Sintetik; Laju sedimentasi; Waduk.*

### **Abstract**

*Abstract is written in English which contains the main issues, research objectives, methods / approaches and research results. Abstract is written in one paragraph, not more than 200 words. This e-document is a "live" template and already defines the components of your paper [title, text, header, etc.] in the "style" setting. Do not Use Special Characters, Symbols, or Formulas in Paper Headings or Abstracts. Kelay Dam in Berau Regency, East Kalimantan, is a vital infrastructure facing significant challenges from sedimentation, threatening its reservoir capacity and efficiency. This study aims to analyze the sedimentation rate in the dam's reservoir volume, focusing on calculating the design discharge and estimating the incoming sediment volume. The research method includes hydrological analysis using ArcGIS for a 3167.693 km<sup>2</sup> watershed delineation and Hydrognomon for design rainfall determination (Log Pearson III distribution), along with HEC-HMS for flood design discharge modeling (opting for SCS Unit Hydrograph). For sedimentation analysis, the Equal Discharge Increment (EDI) Method was applied to calculate suspended sediment discharge and establish a sediment rating curve. Results show significant peak flood discharges for various return periods (e.g., 5614.0 m<sup>3</sup>/second for 100 years). The average sediment discharge of the Kelay River over 20 years is 407.24 tons/day, resulting in an estimated sediment volume of 120,103.25 m<sup>3</sup>/year entering the reservoir. This data highlights the urgency of sediment management for the dam's long-term functionality.*

**Keywords:** *Dam; Flood discharge; Sediment transport; Sedimentation rate; Synthetic Unit Hydrograph.*

## 1. PENDAHULUAN

Bendungan merupakan infrastruktur esensial dalam pengelolaan sumber daya air di Indonesia, dirancang untuk beragam fungsi vital seperti pembangkit listrik, penyediaan air irigasi, pengendalian banjir, pasokan air industri, hingga pariwisata. Salah satu contohnya adalah Bendungan Kelay yang dibangun di aliran Sungai Kelay, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur, dengan Daerah Aliran Sungai (DAS) seluas 3183,624 km<sup>2</sup>. Meskipun memiliki manfaat yang signifikan, pembangunan bendungan tidak lepas dari tantangan serius, terutama terkait sedimentasi. Fenomena ini tak terhindarkan mengingat air sungai membawa serta material sedimen, baik dalam bentuk sedimen melayang (suspended load) yang bercampur dengan air, maupun sedimen dasar (bed load) yang bergerak di dasar sungai. Keberadaan sedimen ini, yang umumnya berasal dari erosi lahan kritis di hulu DAS, secara progresif akan mengurangi kapasitas tumpungan waduk dan berpotensi menurunkan efektivitas fungsional bendungan seiring waktu.

Proses sedimentasi diawali dengan erosi di daerah hulu DAS yang menyebabkan partikel padat dan unsur hara terlarut terbawa oleh aliran permukaan menuju sungai dan akhirnya mengendap di waduk. Akumulasi sedimen di dasar waduk menyebabkan pendangkalan, yang berdampak langsung pada penurunan kapasitas tumpungan dan berkurangnya kesuburan tanah di daerah hulu. Laju kehilangan kapasitas waduk ini sangat bergantung pada tingkat erosi di daerah tangkapan air. Karakteristik sedimen, seperti bentuk dan ukuran partikel, turut memengaruhi distribusi dan tingkat pengendapan sedimen di dalam waduk. Jika tidak dikelola dengan baik, sedimentasi dapat secara drastis mempersingkat usia fungsional bendungan dan mengganggu keberlanjutan pasokan air untuk berbagai kebutuhan. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang laju sedimentasi menjadi krusial dalam perencanaan dan pengelolaan bendungan jangka panjang.

Mengingat urgensi permasalahan sedimentasi pada Bendungan Kelay, penelitian ini menjadi sangat relevan. Kapasitas waduk yang terus berkurang akibat pengendapan

sedimen dapat berdampak luas pada sektor energi, pertanian, dan sosial-ekonomi masyarakat yang bergantung pada bendungan tersebut. Tanpa analisis yang akurat mengenai laju sedimentasi, prediksi umur layanan bendungan menjadi tidak pasti, sehingga menyulitkan upaya mitigasi dan perencanaan revitalisasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan pengetahuan tersebut dengan memberikan data kuantitatif mengenai volume sedimen yang masuk ke waduk, yang pada gilirannya dapat menjadi dasar bagi pengambilan keputusan strategis dalam manajemen bendungan.

Penelitian ini secara spesifik berfokus pada dua aspek utama. Pertama, kami akan melakukan analisis hidrologi untuk menghitung debit rencana pada berbagai kala ulang di daerah aliran Sungai Kelay. Perhitungan debit ini penting sebagai dasar untuk memahami dinamika aliran air yang berperan dalam transportasi sedimen. Kedua, dan yang menjadi inti penelitian, adalah penghitungan volume sedimen yang masuk ke tumpungan Waduk Kelay. Proses ini akan melibatkan penentuan jumlah angkutan sedimen dasar dan sedimen melayang, yang keduanya merupakan komponen utama dari total volume sedimen yang terakumulasi. Dengan mengintegrasikan data hidrologi dan sedimen, kami berharap dapat menyajikan gambaran komprehensif mengenai laju kehilangan kapasitas tumpungan waduk.

Hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam beberapa hal. Secara praktis, data dan analisis yang disajikan dapat menjadi referensi perencanaan bagi para pengelola Bendungan Kelay dalam memprediksi volume sedimen di masa mendatang dan merumuskan strategi pengelolaan sedimen yang efektif. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi bahan acuan dan informasi bagi peneliti lain yang tertarik pada karakteristik dan laju sedimen di wilayah Kalimantan Timur, serta dalam pengembangan model-model prediksi sedimentasi waduk. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada upaya mitigasi dampak sedimentasi untuk menjaga

keberlanjutan fungsi bendungan sebagai aset vital pembangunan.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di lokasi proyek Bendungan Kelay, secara administratif terletak di Desa Long Beliu, Kecamatan Kelay, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur, sebagaimana tertera dalam Gambar 3.1 (Sumber: Update Studi Kelayakan PLTA Kelay). Pendekatan penelitian yang digunakan bersifat penelitian kasus/lapangan untuk mempelajari secara intensif latar belakang, kondisi, dan interaksi lingkungan di sekitar bendungan. Selain itu, penelitian ini juga mengadopsi metode kasual-komparatif guna menyelidiki hubungan sebab-akibat terkait sedimentasi, meskipun tanpa eksperimen langsung, melainkan melalui observasi dan analisis data faktor-faktor yang diduga menjadi penyebab.

Sumber data utama yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) kantor pusat divisi enjiniring dan teknologi, bekerja sama dengan Pusat Kajian LKFT Universitas Gajah Mada, dalam kerangka perencanaan Bendungan Kelay. Data tersebut meliputi data geometri (peta kontur, *cross section* sungai dan daerah genangan, alur memanjang), data hidrologi (curah hujan dan debit sungai), serta data sedimen (diameter butir dan konsentrasi sedimen) yang krusial untuk menganalisis laju sedimentasi.

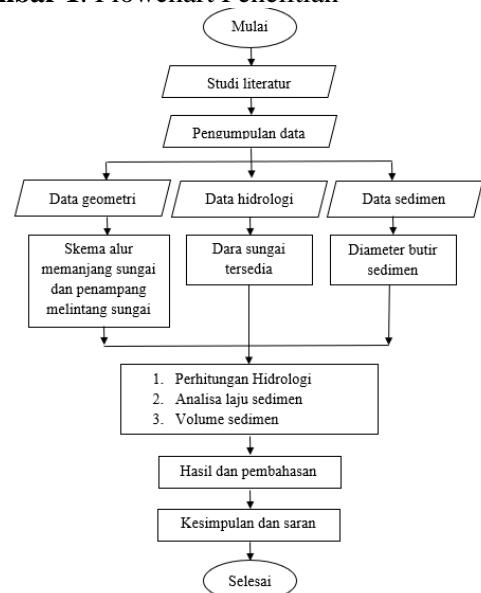
Untuk mendukung analisis, berbagai alat dan bahan telah dipersiapkan. Alat tulis digunakan untuk mencatat data, kamera untuk dokumentasi visual, serta komputer, printer, dan scanner untuk membantu proses analisis dan pengolahan data. Bahan-bahan yang esensial meliputi literatur pendukung seperti buku dan jurnal yang relevan dengan hidrologi dan sedimentasi, serta data-data mentah yang diperoleh, yaitu data topografi, data hidrologi, dan data sedimen.

Tahapan penelitian secara sistematis dimulai dengan pengumpulan dan validasi data, dilanjutkan dengan analisis hidrologi yang mencakup penentuan area curah hujan, pengolahan data debit rencana menggunakan metode statistik seperti aritmatik, Poligon

Thiessen, Gumbel, dan Log-Pearson III, serta perhitungan debit rencana menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu dan Hidrograf Satuan Sintetik Gama I.

Bagian krusial dari metode ini adalah analisis laju sedimentasi, yang dibagi menjadi dua fokus utama: sedimen melayang (suspended load) dan sedimen dasar (bed load). Untuk sedimen melayang, analisis dilakukan berdasarkan pengukuran sesaat dengan persamaan  $Q_{si}=K \cdot C_s \cdot Q_i$  atau  $Q_{sm}=0.0864 \cdot C_s \cdot Q_w$ , serta melalui perhitungan berbasis lengkung sedimen menggunakan persamaan eksponensial  $Q_{sm,hit}=a(Q_w)^b$  yang diubah menjadi linear  $x=a+bY$  untuk menentukan konstanta  $a$  dan  $b$  serta koefisien korelasi  $R$ . Sementara itu, perhitungan sedimen dasar (bed load) akan menggunakan beberapa metode yang telah disederhanakan, seperti Metode Meyer-Peter Mueller (M-P-M) dengan persamaan  $-0.047=0.25(x10/9)-0.462x(2/3)$  atau bentuk sederhananya  $\Phi=0.467+0.25\Psi$ , persamaan Duboys  $q_s=\Psi D \cdot \tau_0 \cdot (\tau_0 - \tau_c)$ , dan pendekatan Einstein untuk  $\Psi$ . Semua tahapan ini akan terintegrasi dalam sebuah flow chart penelitian (Gambar 1) yang menunjukkan alur kerja dari persiapan data hingga penghitungan total volume sedimen di waduk.

**Gambar 1.** Flowchart Penelitian



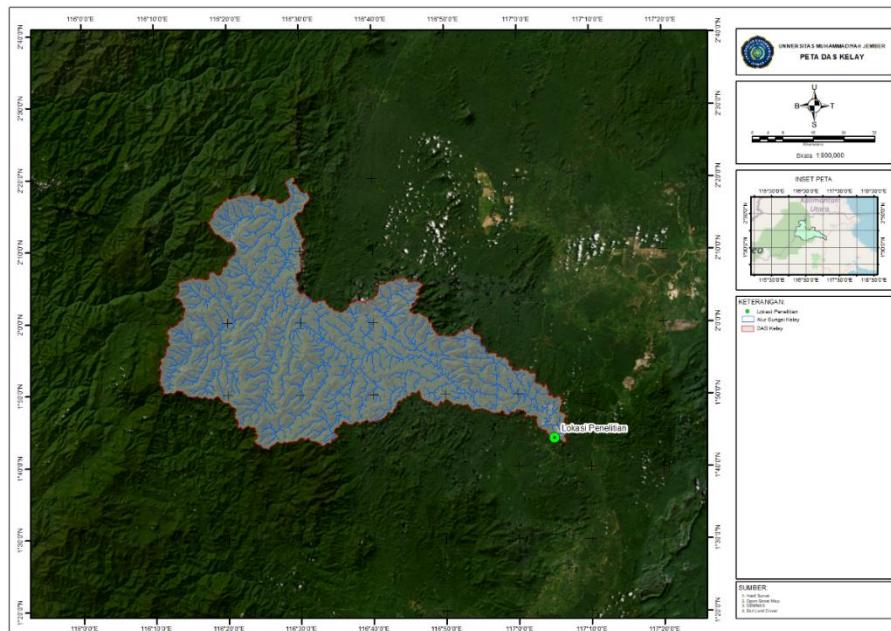
Sumber: diolah penulis

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Hidrologi dan Karakteristik DAS Kelay

Analisis hidrologi adalah fondasi penting untuk memahami bagaimana air bergerak dan membawa sedimen di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Penelitian ini secara spesifik berfokus pada DAS Kelay, yang secara geografis berada di Desa Long Beliu, Kecamatan Kelay, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur. Dengan bantuan *software* ArcGIS, kami berhasil mengidentifikasi dan memetakan luas total DAS Kelay, yaitu 3167,693 km<sup>2</sup>. Pemetaan ini, yang divisualisasikan pada Gambar 2, punya peran krusial dalam menentukan area tangkapan air. Luas area ini akan secara langsung memengaruhi seberapa besar volume curah hujan yang tertampung dan, pada akhirnya, besaran debit aliran sungai.

**Gambar 2.** Peta Aliran Daerah Aliran Sungai (DAS) Kelay



(Sumber : software ArcGIS)

Untuk menghitung debit banjir rencana pada berbagai periode kala ulang (mulai dari 2, 5, 10, 25, hingga 100 tahun) kami mengumpulkan data curah hujan harian maksimum tahunan. Data ini bersumber dari Stasiun BMKG Tanjung Redeb dan mencakup

periode yang cukup panjang, yaitu dari tahun 2000 hingga 2023, seperti yang dirangkum dalam Tabel 1. Mengingat luasnya DAS Kelay, kami juga perlu mempertimbangkan Area Reduction Factor (ARF). ARF berfungsi untuk mengubah curah hujan yang diukur pada satu titik (stasiun BMKG) menjadi curah hujan yang lebih representatif untuk seluruh area DAS.

**Tabel 1.** Data Curah Hujan Maksimum

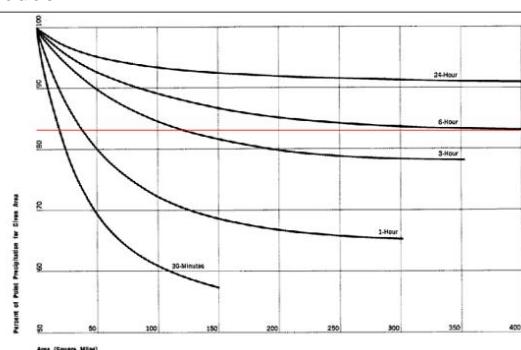
TAHUN	CH MAX	TAHUN	CH MAX
2000	73	2012	192
2001	82	2013	154
2002	85	2014	82
2003	73	2015	63
2004	95	2016	91
2005	64	2017	85
2006	103	2018	93
2007	102	2019	68
2008	131	2020	119
2009	120	2021	111.5
2010	116	2022	109.8
2011	93	2023	95.4

Sumber: Data Online BMKG Stasiun Tanjung Redeb

Berdasarkan analisis grafik ARF (Gambar 3) dengan asumsi durasi hujan rata-rata 6 jam, nilai ARF untuk DAS Kelay ditetapkan sebesar 0,837.

Dengan mengaplikasikan faktor reduksi ini pada data curah hujan maksimum, kami mendapatkan data curah hujan tereduksi yang lebih akurat, seperti yang disajikan dalam Tabel 2. Data ini lebih representatif terhadap kondisi curah hujan aktual di seluruh wilayah DAS, dan akan menjadi input penting untuk perhitungan debit selanjutnya.

**Gambar 3.** ARF Stasiun BMKG Tanjung Redeb



**Tabel 2.** Data Curah Hujan Maksimum

TAHUN	CH MAX	CH REDUKSI
2000	73	60.86621622
2001	82	68.37027027
2002	85	70.87162162
2003	73	60.86621622
2004	95	79.20945946
2005	64	53.36216216
2006	103	85.87972973
2007	102	85.04594595
2008	131	109.2256757
2009	120	100.0540541
2010	116	96.71891892
2011	93	77.54189189
2012	192	160.0864865
2013	154	128.4027027
2014	82	68.37027027
2015	63	52.52837838
2016	91	75.87432432
2017	85	70.87162162
2018	93	77.54189189
2019	68	56.6972973
2020	119	99.22027027
2021	111.5	92.96689189
2022	109.8	91.54945946
2023	95.4	79.54297297

Sumber: Hasil Perhitungan

### Perhitungan Curah Hujan dan Debit Rencana

Setelah data curah hujan tereduksi tersedia, langkah penting selanjutnya adalah menghitung curah hujan rencana untuk berbagai periode kala ulang. Kami menggunakan *software* Hydrognomon untuk melakukan

analisis statistik yang komprehensif, mengaplikasikan beberapa metode distribusi seperti Normal, Log Normal, Log Pearson III, dan Gumbel. Dari hasil uji statistik yang dilakukan, distribusi Log Pearson III menunjukkan nilai kumulatif tertinggi, yang berarti distribusi ini paling cocok dan representatif untuk karakteristik data curah hujan di DAS Kelay. Selain itu, untuk kebutuhan pemodelan debit, kami juga menghitung distribusi curah hujan jangka pendek. Ini dilakukan menggunakan Metode Mononobe, yang menghasilkan nilai intensitas curah hujan ( $I$ ) dalam mm/jam untuk durasi dari 1 hingga 24 jam pada setiap kala ulang. Persamaan Mononobe,  $I=24R24(T24)2/3$ , sangat krusial dalam membangun kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) yang menjadi dasar penting untuk pemodelan hidrologi selanjutnya.

Pemodelan debit banjir rencana adalah tahapan inti dalam analisis hidrologi ini, dan kami melakukannya dengan *software* HEC-HMS. Untuk memastikan akurasi model, beberapa parameter masukan kunci harus ditetapkan. Ini termasuk koefisien tutupan lahan (Curve Number) sebesar 55,135, dengan asumsi *impervious* (area kedap air) 0%, dan *lag time* SCS selama 1410 menit. Parameter-parameter ini dimasukkan ke dalam model HEC-HMS untuk mensimulasikan respons hidrologi DAS terhadap curah hujan rencana. Hasil dari pemodelan HEC-HMS ini sangatlah informatif, karena menunjukkan hidrograf debit rencana untuk kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun.

Secara spesifik, debit puncak rencana yang dihasilkan dari pemodelan HEC-HMS adalah 651,7  $\text{m}^3/\text{detik}$  untuk kala ulang 2 tahun; 1148,4  $\text{m}^3/\text{detik}$  untuk 5 tahun; 1550,7  $\text{m}^3/\text{detik}$  untuk 10 tahun; 2140,4  $\text{m}^3/\text{detik}$  untuk 25 tahun; 2858,5  $\text{m}^3/\text{detik}$  untuk 50 tahun; dan mencapai 3184,7  $\text{m}^3/\text{detik}$  untuk kala ulang 100 tahun. Kami juga membandingkan hasil ini dengan perhitungan yang menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu.

Meskipun kedua metode menghasilkan hidrograf, kami menemukan adanya perbedaan yang signifikan antara keduanya. Oleh karena itu, berdasarkan perbandingan tersebut, debit

banjir kala ulang yang diperoleh dari HSS SCS (hasil HEC-HMS) adalah nilai yang kami pilih untuk digunakan dalam analisis ini. Hal ini karena HSS SCS dinilai lebih sesuai dan akurat dalam merepresentasikan karakteristik hidrologi DAS Kelay.

#### Perhitungan Laju Sedimentasi

Dalam analisis laju sedimentasi, penelitian ini mengadopsi Metode Equal Discharge Increment (EDI). Pendekatan ini didasarkan pada data pengamatan yang mencakup konsentrasi sedimen tersuspensi (Total Suspended Solid/TSS) dan debit air yang mengalir di Sungai Kelay. Hasil perhitungan awal menghasilkan nilai debit sedimen tersuspensi ( $Q_s$ ) dalam satuan ton per hari, yang bervariasi tergantung pada nilai TSS dan debit air yang tercatat. Data-data ini kemudian menjadi dasar untuk membuat kurva rating sedimen, sebuah representasi grafis yang secara jelas menunjukkan hubungan antara debit air dan debit sedimen. Kurva rating ini memiliki peran vital, memungkinkan prediksi angkutan sedimen di masa mendatang hanya dengan mengandalkan data debit air yang tersedia.

Berdasarkan perhitungan yang cermat, diketahui bahwa debit rata-rata Sungai Kelay selama periode 20 tahun terakhir adalah 112,4  $m^3/\text{detik}$ . Angka debit rata-rata ini digunakan bersamaan dengan persamaan yang diturunkan dari kurva rating sedimen untuk memperkirakan laju sedimen harian. Dari estimasi tersebut, didapatkan bahwa debit sedimen rata-rata per hari di Sungai Kelay mencapai 407,24 ton. Ini merupakan indikator awal yang kuat mengenai jumlah material padat yang secara konsisten terbawa oleh aliran sungai.

Selanjutnya, untuk mengonversi debit sedimen harian menjadi volume sedimen aktual, kami menggunakan rentang berat volume sedimen yang umum ditemukan, yaitu antara 0,808 ton/ $m^3$  hingga 0,934 ton/ $m^3$ . Dengan mengambil asumsi berat volume sedimen sebesar 0,808 ton/ $m^3$ , diperkirakan volume sedimen harian yang masuk ke Waduk Kelay adalah sekitar 329,05  $m^3/\text{hari}$ . Jika volume harian ini diakumulasikan selama satu tahun, total volume sedimen tahunan yang masuk ke tumpungan waduk mencapai 120.103,25

$m^3/\text{tahun}$ . Angka volume sedimen yang signifikan ini secara gamblang menyoroti laju sedimentasi yang tinggi di Waduk Kelay, sebuah fakta yang menggarisbawahi urgensi pengelolaan sedimen yang komprehensif untuk menjaga dan memperpanjang kapasitas tumpungan bendungan dalam jangka panjang.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis komprehensif mengenai transportasi sedimen pada studi kasus Bendungan Kelay, dapat disimpulkan beberapa poin penting. Pertama, pemodelan hidrograf banjir menggunakan HEC-HMS menunjukkan dinamika aliran yang signifikan. Model ini secara jelas memperlihatkan bahwa pergerakan aliran tidaklah konstan, melainkan terus menunjukkan peningkatan nilai debit seiring dengan bertambahnya periode ulang. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin jarang frekuensi kejadian banjir, semakin besar pula debit puncak yang dapat terjadi di DAS Kelay. Pemahaman terhadap pola peningkatan debit ini sangat krusial untuk perencanaan dan pengelolaan bendungan, terutama dalam menghadapi peristiwa banjir ekstrem di masa mendatang.

Kedua, melalui pemodelan hidrograf banjir dengan HEC-HMS, kami berhasil mengidentifikasi karakteristik debit puncak untuk Daerah Aliran Sungai (DAS) Kelay. Secara berurutan, nilai debit puncak yang didapatkan adalah 1909,0  $m^3/\text{detik}$  untuk periode ulang 2 tahun; 1936,9  $m^3/\text{detik}$  untuk 5 tahun; 2540,9  $m^3/\text{detik}$  untuk 10 tahun; 3695,7  $m^3/\text{detik}$  untuk 25 tahun; 4628,4  $m^3/\text{detik}$  untuk 50 tahun; dan mencapai 5614,0  $m^3/\text{detik}$  untuk periode ulang 100 tahun.

Data debit puncak ini menjadi informasi vital dalam mengevaluasi kapasitas pelimpah (spillway) bendungan dan mengestimasi risiko banjir di hilir. Ketiga, berdasarkan analisis *rating curve* garis regresi *power*, dengan menggunakan debit rata-rata Sungai Kelay selama 20 tahun terakhir yaitu 112,4  $m^3/\text{detik}$ , didapatkan estimasi debit sedimen rata-rata sebesar 407,24 ton per hari. Angka ini menunjukkan volume material sedimen yang secara kontinu terbawa dan berpotensi

mengendap di dalam tampungan waduk, menegaskan ancaman sedimentasi terhadap usia pakai dan efektivitas fungsional Bendungan Kelay.

Berdasarkan hasil analisis transportasi sedimen pada studi kasus Bendungan Kelay, ada beberapa hal penting yang dapat disarankan untuk perbaikan di masa mendatang. Pertama, perlu adanya pemasangan pos perkiraan hujan otomatis dengan rekaman data jam-jaman pada titik-titik strategis di DAS Kelay. Data hujan *real-time* dan *continuous* ini akan sangat bermanfaat untuk meningkatkan akurasi analisis hidrologi di masa depan, termasuk dalam pembaruan model hidrograf banjir dan prediksi debit.

Kedua, untuk mendapatkan gambaran yang lebih detail dan akurat mengenai pola curah hujan di wilayah sekitar Bendungan Kelay, perlu adanya penambahan pos penakar hujan di berbagai lokasi dalam kawasan bendungan dan sekitarnya. Dengan jaringan pos penakar hujan yang lebih padat, kita bisa memperoleh data curah hujan spasial yang lebih representatif, yang pada gilirannya akan meningkatkan keandalan perhitungan curah hujan wilayah dan analisis hidrologi secara keseluruhan.

## 5. REFERENSI

Agustin, F. T. 2015. Pengaruh Viskositas Air Laut Terhadap Kecepatan Endap Partikel. *Jurnal Mahasiswa Universitas Pendidikan Indonesia*.

Asdak, C. 2014. *Hidrologi dan Pengolahan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.

Mardjukoen, P. 1988. *Transportasi Sedimen*. dalam Skripsi Hadi, Z. 2005. *Kajian Sedimentasi Sungai Ambawang*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.

Nanang Saiful R. 2017. *Aplikasi Perencanaan Irigasi dan Bangunan Air*. Jember: Universitas Muhammadiyah Jember.

Nasrullah & Sulistiawati. 2018. *Tinjauan Tingkat Laju Sedimentasi Volume*

*Tampungan Waduk Pada Bendungan Karalloe Kab. Gowa*. Skripsi tidak dipublikasikan. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar.

Noor Salim. 2018. *Buku Modul – Drainase Kawasan*. Jember: Universitas Muhammadiyah Jember.

Pangestu, H. & Hakiki, H. 2013. Angkutan Sedimen Total Pada Sungai Dawas Kabupaten Musi Banyuasin. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*.

Roby Hambali & Yayuk Apriyanti. 2016. Studi Karakteristik Sedimen Dan Laju Sedimentasi Sungai Daeng – Kabupaten Bangka Barat. Bangka: Universitas Bangka Belitung.

Sudjarwadi. 1987. *Teknik Sumberdaya Air*. Diktat, PAU Ilmu Teknik. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.

Suroso & Wahyu W. 2007. *Sedimentation Control Model Of Mirca Reservoir Using Fluidization*. Purwokerto: Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil UNSOED.