

ANALISIS PERMASALAHAN SEDIMEN TERHADAP UMUR RENCANA WADUK DAN RENCANA STRATEGI PENANGANAN (STUDI KASUS : WADUK BATUJAI)

Mustafa Siregar¹, Didin Kusdian²

^{1,2} Magister Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana

ABSTRAK

Waduk Batujai terbangun pada tahun 1982 sehingga usia waduk telah mencapai 36 tahun telah terjadi perubahan luas genangan (penyusutan) sebesar 68,32 hektar pada elevasi Muka Air Rendah +87,00 mdpl dari semula 104,2 Ha menjadi 35,97 Ha (data bathimetri Tahun 2018). Salah satu faktor sedimentasi di waduk dipengaruhi oleh adanya erosi akibat perubahan Pola Ruang pada Daerah Tangkapan Air seluas 130,43 Km² yang terbagi atas 5 (lima) sub Daerah Aliran Sungai. Tujuan dari penelitian ini diantaranya mendapatkan nilai potensi laju erosi berdasarkan perubahan tata guna lahan untuk kemudian dimodelkan hidro-dinamika untuk mengetahui sebaran sedimentasi serta mengetahui sisa umur rencana waduk dan rekomendasi rencana penanganan sedimentasi pada zona Daerah Tangkapan Air. Metoda penelitian dilakukan berdasarkan observasi lapangan, analisa distribusi sedimen dengan pendekatan USLE dan pemetaan lahan dengan software ArcGIS untuk kemudian dilakukan pemodelan 2 dimensi dengan beberapa parameter utama diantaranya data bathimetri dan hidrometri. Hasil analisis menunjukkan bahwa erosi lahan eksisting mencapai 30,313 m³/tahun sementara hasil pengukuran sedimentasi lapangan dan dianalisa diperoleh nilai total volume sedimen yang masuk waduk mencapai 25,090 m³/tahun. Hasil pemodelan hidrodinamika 2D dengan waktu simulasi selama 1 (satu) tahun, menunjukkan adanya akumulasi pengendapan sedimen pada area tengah waduk dengan adanya perubahan dasar elevasi +0,60 hingga +3,00 meter. Kesimpulan penelitian ini adalah diperolehnya upaya mengurangi laju sedimentasi dilakukan dengan melakukan penanganan sedimentasi diantaranya kegiatan pengerukan (pada area genangan waduk), pembangunan Bangunan Pengendali Sedimen serta penanganan konservasi sipil non teknis, guna dapat memperpanjang sisa usia guna waduk dari semula tersisa 10 tahun menjadi 18 tahun.

Kata kunci: waduk batujai, erosi, sedimentasi, pemodelan hidrodinamika, usia guna waduk.

ABSTRACT

Batujai Reservoir was built in 1982 so that the age of the reservoir has reached 36 years, there has been a change in the inundation area (shrinkage) of 68.32 hectares at the Low Water Level elevation +87.00 masl from the original 104.2 Ha to 35.97 Ha (bathymetry data in 2018). One of the sedimentation factors in the reservoir is influenced by erosion due to changes in the Spatial Pattern in the Catchment Area of 130.43 Km² which is divided into 5 (five) sub-watersheds. The objectives of this research include obtaining the potential value of erosion rates based on land use changes and then modeling hydro-dynamics to determine the distribution of sedimentation and determine the remaining life of the reservoir plan and recommendations for sedimentation management plans in the Catchment zone. The research method is based on field observations, sediment distribution analysis with the USLE approach and land mapping with ArcGIS software to then perform 2-dimensional modeling with several main parameters including bathymetry and hydrometry data. The results of the analysis showed that the existing land erosion reached 30,313 m³ / year while the results of field sedimentation measurements and analyzed obtained a total value of sediment volume entering the reservoir reached 25,090 m³ / year. The results of 2D hydrodynamic modeling with a simulation time of 1 (one) year, showed the accumulation of sediment deposition in the middle area of the reservoir with a change in the base elevation of +0.60 to +3.00 meters. The conclusion of this research is that efforts to reduce the sedimentation rate are carried out by handling sedimentation including dredging activities (in the reservoir inundation area), construction of Sediment Control Buildings and non-technical civil conservation handling, in order to extend the remaining useful life of the reservoir from the original 10 years to 18 years.

Keywords: batujai reservoir, erosion, sedimentation, hydrodynamic modeling, reservoir life.

PENDAHULUAN

Semua waduk mengalami sedimentasi dengan tanpa tindakan pencegahan dan mitigasi yang

memadai, mengancam kelestariannya. Selain hilangnya kapasitas penyimpanan, pengoperasian intake air dan saluran outlate

yang memadai dan aman dari struktur outlet vital dapat dipengaruhi oleh pengendapan sedimen di waduk [1].

Isu utama dalam pengelolaan waduk adalah permasalahan sedimentasi. Sedimentasi dapat berupa hasil dari proses erosi lahan pada Daerah Tangkapan Air (DTA) waduk maupun hasil dari longsor tebing sungai atau tebing pada waduk itu sendiri. Sedimen yang masuk ke waduk sebagian akan diendapkan ke dasar waduk dan sebagian lainnya akan dikeluarkan bersama aliran outflow [2].

Bendungan Batujai secara administratif terletak di Desa Batujai, Kecamatan Praya, Kabupaten Lombok Tengah, dan secara geografis berada pada koordinat $116^{\circ} 15' 275''$ BT dan $8^{\circ} 44' 69''$ LS. Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Batujai memiliki bentuk hampir bulat dengan bagian hulunya atau bagian utaranya mengecil dengan inflow waduk batujai terbesar bersumber dari Sungai Penujak. DTA waduk Batujai memiliki luas DTA 135,32 km² terdiri atas 5 (lima) sungai utama yaitu Sungai Leneng, Sungai Sade / Tiwubare, Sungai Dodokan / Srigunggu / Surabaya, Sungai Penujak. Pada DTA Batujai terdapat 5 (lima) anak sungai yang masuk ke sungai utama (Sungai Penujak). Wilayah DAS Bendungan Batujai adalah DAS Dodokan yang meliputi Kota Praya dan Kabupaten Lombok Tengah yang terdiri atas Kecamatan Praya Barat, Praya Barat Daya, Jonggat, Janapria, Kopang, dan Kecamatan Batukliang.

Secara administrasi, DTA Batujai terdistribusi pada 47 (empat puluh tujuh) Desa berada pada Kabupaten Lombok tengah. Di dalam DTA Batujai terdapat beberapa bangunan sumber daya air berupa embung dan bendung.

Berdasarkan uraian latar belakang penelitian, maka diperlukan identifikasi untuk analisis pengaruh distribusi sedimen terhadap umur rencana waduk Batujai. Permasalahan yang akan diidentifikasi, antara lain :

- 1 Kondisi tata guna lahan DTA Waduk Batujai saat penelitian dilakukan ;
- 2 Pola sebaran sedimentasi dari hasil pemodelan hidrodinamika di waduk Batujai ditinjau berdasarkan data sekunder serta pengukuran lapangan sesaat ;
- 3 Permasalahan sedimentasi yang terjadi pada Zona Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Batujai ;

Rumusan masalah atau lingkup dan batasan penelitian ini dikonsentrasikan pada :

- 1 Sejauh mana potensi laju erosi akibat adanya perubahan Tata Guna Lahan lahan DAS Waduk Batujai?
- 2 Seperti apa pola sebaran sedimentasi yang terjadi di waduk Batujai berdasarkan pemodelan hidrodinamika waduk dari data *input* parameter pengukuran dan pengamatan sesaat?
- 3 Bagaimana konsep strategi penanganan sedimentasi pada Zona Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Batujai?



Gambar 1 : Aerial View Bendungan Batujai
Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengumpulan data sekunder dan primer untuk kemudian diperoleh beberapa hasil analisa / kajian sebagai berikut :

- 1 Mendapatkan nilai potensi laju erosi dari peta tata guna lahan, dikaitkan kesesuaiannya terhadap hasil kajian data sekunder, debit aliran serta sedimen yang masuk pada beberapa ruas sungai yang merupakan inlet waduk Batujai.
- 2 Melakukan pemodelan hidro-dinamika untuk mengetahui sebaran sedimentasi di waduk Batujai.
- 3 Mengevaluasi sisa umur rencana waduk ditinjau terhadap sedimentasi eksisting, serta rekomendasi usulan rencana penanganan sedimentasi pada Zona DTA Waduk Batujai.

Diperlukan adanya identifikasi untuk analisis pengaruh distribusi sedimen terhadap umur rencana waduk Batujai. Permasalahan yang akan diidentifikasi, antara lain :

- 1 Kondisi tata guna lahan DTA Waduk Batujai saat penelitian dilakukan ;
- 2 Pola sebaran sedimentasi dari hasil pemodelan hidrodinamika di waduk

Batujai ditinjau berdasarkan data sekunder serta pengukuran lapangan sesaat ;

- 3 Permasalahan sedimentasi yang terjadi pada Zona Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Batujai ;

TINJAUAN PUSTAKA

Daerah Aliran Sungai yang selanjutnya disebut DAS adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan [3].

Data primer berupa data kuantitatif akan diperoleh dari observasi langsung terhadap Sungai Penujak serta sungai lainnya dengan pengamatan yang dilakukan yaitu :

1. Pengukuran unsur geometris pada beberapa ruas sungai inlet waduk, diantaranya penampang memanjang dan melintang sungai, serta pengumpulan data pengamatan debit AWLR (Automatic Water Level Recorder)
2. Kajian evaluasi kondisi tata guna lahan ditinjau dari peta tataguna lahan yang dikeluarkan instansi terkait pada tahun 2019 untuk kemudian dijadikan sebagai kalibrasi terhadap input sedimen yang akan digunakan dalam pemodelan.

Survei hidrometri bertujuan untuk mengumpulkan data besaran arus sungai, debit aliran sungai serta sedimen transport

sungai di lokasi kegiatan, khususnya sungai-sungai yang merupakan inlet bendungan/waduk.

Data primer untuk menentukan hal-hal yang mempengaruhi sisa usia rencana Waduk Batujai berdasarkan pemodelan. Adapun data sekunder akan diperoleh dari beberapa sumber, berupa data kuantitatif dan kualitatif skala interval dan rasio yang berkaitan dengan kebutuhan data untuk penelitian, yaitu :

1. Profil Bendungan Batujai ;
2. Data debit dari alat pengamat otomatis (AWLR) yang terletak pada ruas Sungai Penujak ;
3. Peta topografi, tachimetri serta bathimetri Waduk Batujai ;
4. Data analisa debit rendah hidrologi ;
5. Peta tata guna lahan DTA Waduk tahun 2020.

METODE

Erosi dan Sedimentasi merupakan proses terlepasnya butiran tanah dari induknya di suatu tempat dan terangkutnya material tersebut oleh gerakan air atau angin kemudian diikuti dengan pengendapan material yang terdapat di tempat lain [4]. Model untuk memprediksi erosi atau yil sedimen dari sebuah DAS yang masih digunakan sampai sekarang adalah persamaan *Universal Soil Loss Equation* (USLE), USLE dirancang untuk memprediksi erosi jangka panjang dari erosi lembar (*sheet erosion*) dan erosi alur dibawah kondisi tertentu. Parameter fisik dan pengelolaan dikelompokkan menjadi lima variabel utama yang nilainya untuk setiap

tempat dapat dinyatakan secara numeris [5]. Kombinasi lima variabel ini yang dikenal dengan sebutan persamaan USLE [6], adalah sebagai berikut :

$$Ea = R.K.LS.C.P..... (1)$$

Sediment Delivery Ratio (SDR) merupakan perkiraan rasio tanah yang diangkut akibat erosi lahan saat terjadinya limpasan. Nilai SDR dipengaruhi oleh bentuk muka bumi dan faktor lingkungan. *Sediment Delivery Ratio* berdasarkan persamaan Boyce, 1975 [7], yaitu :

$$SDR = 0,41 \cdot A^{-0,3} (2)$$

Dimana :

$$SDR = \text{Sediment Delivery Ratio}$$

$$A = \text{Luas DAS (km}^2\text{)}$$

Sedimen di gerakkan oleh proses dasar dari pencampuran, pengangkutan dan deposisi [8]. Ketiga proses ini bisa bekerja pada saat dan waktu yang sama atau bisa berinteraksi diantara ketiganya.

- a) Pencampuran (*entrainment*) terjadi sebagai hasil dari friksi yang terjadi di dasar waduk oleh arus dan gelombang dengan difusi turbulen yang diperkirakan membawa butiran di dasar ke arah atas masuk menjadi sedimen yang tersuspensi.
- b) Pengangkutan (*transportation*) terjadi oleh butiran yang mengelinding (*rolling*), meloncat (*hopping*) dan gelincir (*sliding*) di sepanjang dasar sebagai respon dari friksi, kemiringan dasar waduk dan gravitasi. Proses ini dikenal dengan *bedload transport*.
- c) Jika arus yang terjadi cukup besar (atau gelombang yang terjadi cukup besar) dan

butiran cukup halus, pasir akan terangkat masuk menjadi sedimen yang tersuspensi sampai ketinggian beberapa meter diatas dasar dan terbawa oleh arus. Proses transpor ini dikenal dengan *suspended load*.

- d) Deposisi terjadi ketika butiran mengendap di dasar waduk karena kecepatan arus yang terjadi lebih kecil daripada kecepatan mengendap partikel.

Kondisi batas yang dipakai dalam pemodelan numerik ini adalah sebagai berikut :

- a) Kondisi batas luar yang dapat diterapkan antara lain :
- hubungan antara debit-waktu pada masing-masing sungai yang masuk (*inlet*) dan sungai keluaran (*outlet*),
 - hubungan antara ketinggian muka air-waktu atau ketinggian muka air-debit (lengkung debit) pada masing-masing inlet maupun outlet,
- b) Kondisi batas dalam, dapat dinyatakan dalam bentuk bangunan air, reservoir, percabangan atau penggabungan dari sungai yang masuk

MIKE 21 hydrodynamic (HD) modul adalah model matematik untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *open model boundaries*. Modul HD ini mensimulasi perbedaan muka air dan arus dalam menghadapi berbagai fungsi gaya di danau, estuari dan pantai [9]. Efek dan fasilitasi yang termasuk di dalamnya yaitu:

1. *bottom shear stress*

2. *wind shear stress*
3. *barometric pressure gradients*
4. *coriolis force*
5. *momentum dispersion*
6. *sources and sinks*
7. *evaporation*
8. *flooding and drying*
9. *wave radiation stresses*

Model HD ini mensimulasi aliran dua dimensi tidak langgeng dalam fluida satu lapisan (secara vertikal homogen) [10]. Persamaan berikut, konservasi massa dan momentum, menggambarkan aliran dan perbedaan muka air:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \dots \dots \dots (4)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (p_a) = 0 \dots \dots \dots (5)$$

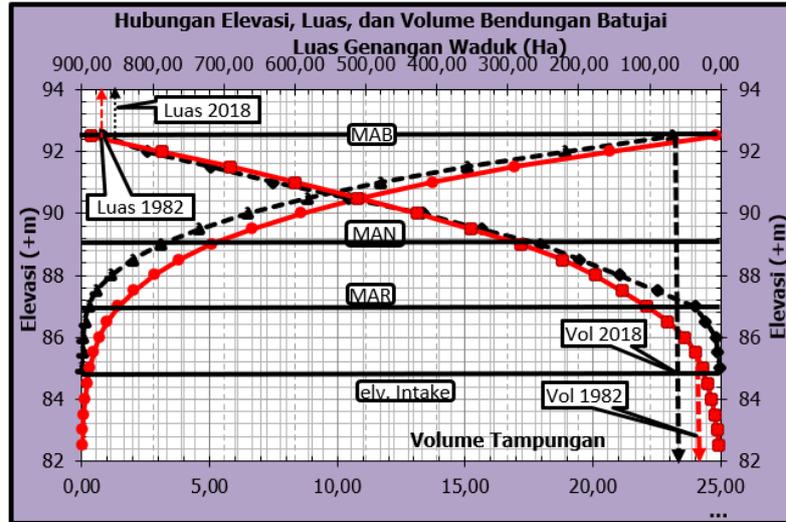
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Bathimetri

Hasil pengukuran bathimeri (tahun 2018) dapat disimpulkan bahwa perubahan luas genangan dan volume tampungan selama waduk beroperasi 36 tahun (1982 – 2018) adalah sebagai berikut:

1. Diketahui berdasarkan data desain pada tahun 1982 elevasi dasar waduk adalah +82.50 mdpl, sementara elevasi dasar

- waduk berdasarkan pengukuran tahun 2018 adalah 85,00 mdpl sehingga dapat disimpulkan bahwa telah terjadi pendangkalan sebesar 2,50 meter.
2. Elevasi intake terletak pada elevasi +85,00 mdpl dengan luas genangan tahun 1982 direncanakan sebesar 25,50 ha, dan tahun 2018 berkurang menjadi 0,73 ha, sehingga telah terjadi penyusutan sebesar 24,77 Ha. Sedangkan volume tampungan waduk tahun 1982 sebesar 315.000 m³ dan pada tahun 2018 sebesar 2.428,23 m³, sehingga volume tampungan berkurang sebesar 312.571,77 m³.
 3. Elevasi Muka Air Rendah (MAR) +87,00 mdpl, diketahui bahwa luas genangan tahun 1982 adalah sebesar 104,20 Ha, sedangkan berdasarkan data tahun 2018 berkurang menjadi 35,97 Ha, sehingga telah terjadi penyusutan sebesar 68,23 Ha. Sedangkan volume tampungan waduk pada elevasi Muka Air Rendah (MAR) tahun 1982 sebesar 1,43 juta m³ dan tahun 2018 sebesar 0,25 juta m³, sehingga volume tampungan pada elevasi Muka Air Rendah (MAR) berkurang sebesar 1,18 juta m³.
 4. Elevasi Muka Air Normal (MAN) +89,00 mdpl, luas genangan pada tahun 1982 adalah sebesar 281,81 Ha sedangkan pada tahun 2018 berkurang menjadi 254,50 Ha, sehingga telah terjadi penyusutan sebesar 27,31 Ha. Sedangkan volume tampungan waduk pada elevasi Muka Air Normal (MAN) tahun 1982 sebesar 5,08 juta m³ sementara volume tampungan waduk pada elevasi Muka Air Normal (MAN) di tahun 2018 adalah sebesar 3,11 juta m³, sehingga volume tampungan berkurang sebesar 1,97 juta m³.
 5. Pada elevasi Muka Air Banjir (MAB) +92,50 mdpl, luas genangan tahun 1982 sebesar 887,60 Ha dan tahun 2018 berkurang menjadi 868,96 Ha, sehingga telah terjadi penyusutan sebesar 18,64 Ha. Sedangkan volume tampungan waduk pada elevasi Muka Air Banjir (MAB) tahun 1982 sebesar 24,82 juta m³ dan tahun pada tahun 2018 adalah sebesar 23,08 juta m³, sehingga volume tampungan berkurang sebesar 1,74 juta m³.



Gambar 2: Grafik Luas dan Volume tampungan Waduk Batujai Tahun 1982 dan Tahun 2018
 Sumber: Inspeksi Besar Waduk Batujai, PT. Mettana 2018

Analisis Pola Ruang

Analisis pola ruang yang disusun 20 tahun dan di update setiap 5 tahun sekali diperlukan guna mengetahui apakah jika rencana tata ruang dijalankan dengan / sesuai dengan konsepnya, akan berdampak terhadap kondisi eksting atau tidaknya. Sehingga diperlukan evaluasi tersebut guna melihat potensi erosi dan sedimen yang terjadi, dibandingkan dengan kondisi eksisting [11].

Jika dilihat perubahan tataguna lahan dari rencana pola ruang hingga eksisting yang direncanakan perubahannya tidak signifikan, namun yang paling terlihat yaitu pemukiman 1.472 Ha, menjadi 1.987 Ha. Sedangkan perkebunan 1.758 Ha, menjadi 2.064 Ha.

Dari hasil analisis menunjukkan erosi pada rencana pola ruang sebesar 17,619 ton/ha/tahun, atau sebesar 16,089 m³/th. Erosi ini lebih kecil dibandingkan dengan kondisi eksisting dengan erosi lahan sebesar 263,550 ton/ha/tahun, sebesar 30,313 m³/th.

Tabel 1 : Besarnya luas tata guna lahan Pola Ruang vs Eksisting

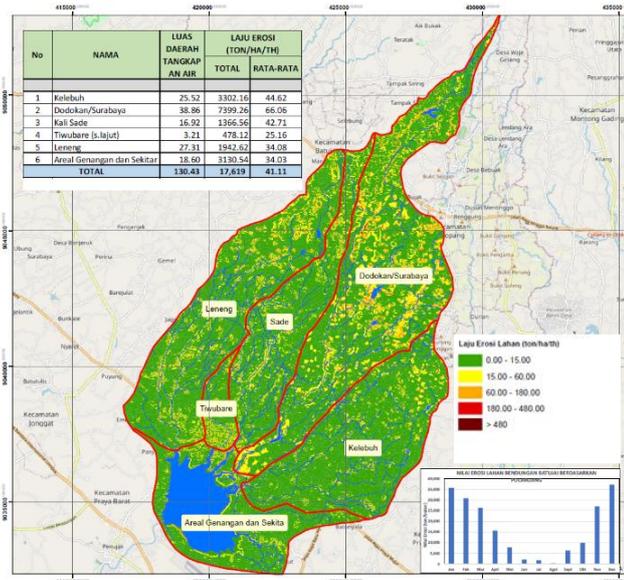
| FID | Penutupan Lahan | Luas Lahan (Ha) | |
|--------------|--------------------------|------------------|------------------|
| | | Pola Ruang | Eksisting |
| 1 | Danau | 19.98 | 92.48 |
| 2 | Kawasan Pertanian | 9.153.09 | 8.222.36 |
| 3 | Kawasan Perkebunan | 1.758.46 | 2.070.52 |
| 4 | Kawasan Perikanan/Tambak | 7.12 | 0.00 |
| 5 | Kawasan Permukiman | 1.472.58 | 1.987.19 |
| 6 | Bendungan /Waduk | 631.76 | 670.45 |
| Total | | 13.043,00 | 13.043,00 |

Sumber: Olahan Penelitian, 2022

Tabel 2 : Besarnya Erosi dan Tingkat Bahaya Erosi Batujai Berdasarkan Pola Ruang

| No | Tingkat Bahaya Erosi | Luas Erosi (Ha) | Laju Erosi (Ton/Ha/Thn) |
|--------------|----------------------|------------------|-------------------------|
| 1 | Sangat Ringan | 10.912.20 | < 15 |
| 2 | Ringan | 1.638.00 | 15 -60 |
| 3 | Sedang | 472.90 | 60 – 180 |
| 4 | Berat | 19.50 | 180 – 480 |
| 5 | Sangat Berat | 0.40 | > 480 |
| Total | | 13.043,00 | |

Sumber: Olahan Penelitian, 2022



Sumber: Olahan Penelitian, 2022

Gambar 3 : Erosi Lahan DTA Batujai dengan Pola Ruang

Tabel 3 : Resume Besarnya Sedimentasi Waduk Batujai Berbagai Analisis

| No | Sungai | Daerah tanggapan Air (Km ²) | Pemodelan Sampel Sedimen (m ³ /tahun) | USLE Pola Eksisting (m ³ /tahun) | USLE Pola Rencana (m ³ /tahun) |
|--------------|----------------------------|---|--|---|---|
| 1 | Kelebuah | 25.52 | 196.00 | 5,843.78 | 1930.71 |
| 2 | Dodokan/Surabaya | 38.86 | 3910.00 | 11,908.24 | 7390.48 |
| 3 | Kali Sade | 16.92 | 17029.00 | 4,110.01 | 1759.70 |
| 4 | Tiwubare (s.lajut) | 3.21 | 3406.00 | 855.88 | 518.82 |
| 5 | Leneng | 27.31 | 549.00 | 6,119.99 | 3267.24 |
| 6 | Areal Genangan dan Sekitar | 18.31 | | 1,475.40 | 1219.57 |
| Total | | 130.43 | 25,090.00 | 30,313.31 | 16,086.53 |

Sumber: Olahan Penelitian, 2022

Evaluasi Sedimentasi Berdasarkan Metoda USLE

Dari hasil analisis pemodelan didapatkan bahwa sub basin kali Sade memberikan kontribusi sedimen sebesar 67.87% (17,029 m³/th), sementara berdasarkan hasil analisis USLE didapatkan sub basin kali Dodokan/Surabaya memberikan kontribusi sedimen sebesar 39.28% (11,908 m³/th).

Namun berdasarkan total sedimentasi yang terjadi berdasarkan hasil pemodelan sedimentasi dan hasil USLE terkoreksi untuk nilai SDR yang paling mendekati dengan kondisi lapangan hasil pemodelan sampel

yaitu dengan metode Bouce dengan besarnya nilai SDR 0,127% berbanding 0.104%.

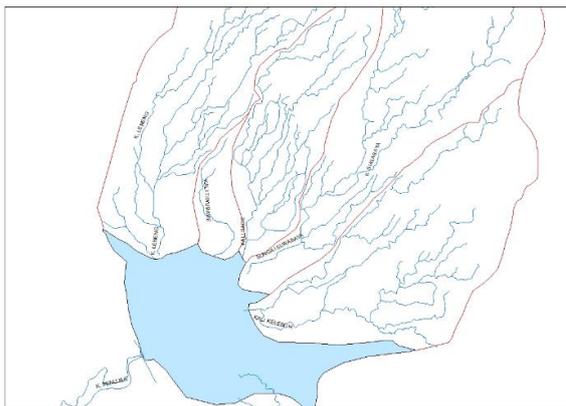
Tabel 4 : Besar Sedimentasi berdasarkan hasil USLE dan pemodelan 1 Dimensi

| No | Sungai | Luas Daerah Tangkapan Air (Km ²) | Pemodelan Sampel Sedimen (m ³ /tahun) | USLE (m ² /tahun) |
|--------------|----------------------------|--|--|------------------------------|
| 1 | Kelebuah | 25.52 | 196 | 5,844 |
| 2 | Dodokan/Surabaya | 38.86 | 3,910 | 11,908 |
| 3 | Kali Sade | 16.92 | 17,029 | 4,110 |
| 4 | Tiwubare (s.lajut) | 3.21 | 3,406 | 856 |
| 5 | Leneng | 27.31 | 549 | 6,120 |
| 6 | Areal Genangan dan Sekitar | 18.60 | | 1,475 |
| Total | | 130.43 | 25,090 | 30,313 |

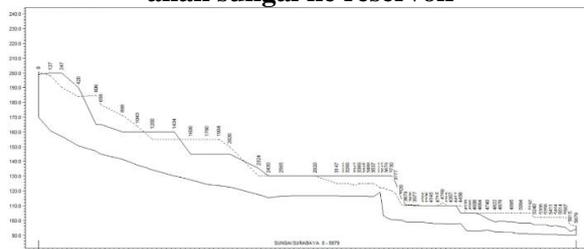
Sumber: Olahan Penelitian, 2022

Pemodelan Sedimentasi 1 Dimensi Anak Sungai

Skenario pemodelan dengan kondisi eksisting dilakukan mensimulasi modul hidrodinamik dan angkutan sedimen dengan waktu simulasi 1 (satu) tahun, sesuai dengan data hidrograf sungai 1 (satu) tahunan yang ada. Hidrograf debit digunakan sebagai kondisi batas hulu dan lengkung debit sungai sebagai batas hilir, dengan parameter konsentrasi dan gradasi sedimen dimasing-masing anak sungai sebagai input simulasi angkutan sedimen. Terdapat 5 (lima) anak sungai yang berkontribusi terhadap sedimentasi di Waduk Batujai.



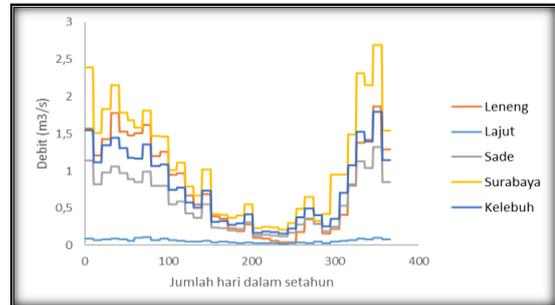
Gambar 4 : Skema input kontribusi anak sungai ke reservoir



Gambar 5 : Potongan memanjang Sungai Surabaya

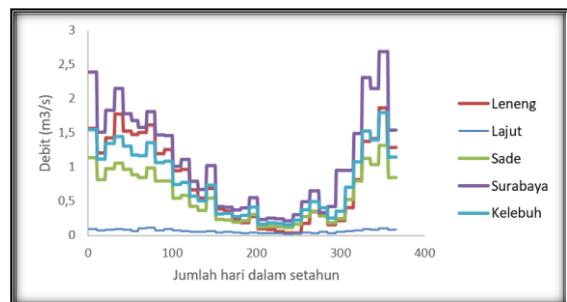
Debit sungai sebagai kondisi batas hulu dan lengkung debit sungai hilir sebagai kondisi batas hilir. Hidrograf debit anak sungai dalam 1 tahun diambil dari pendekatan ratio debit desain anak sungai yang dikorelasikan dengan

catatan debit yang masuk ke waduk Batujai dalam 1 tahun, sehingga didapatkan hidrograf seperti ditunjukkan pada gambar sebagai berikut.

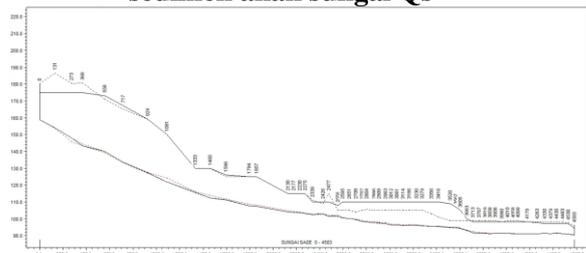


Gambar 6 : Hidrograf debit anak sungai selama 1 tahun

Debit angkutan sedimen didapatkan dari hasil pengukuran sedimen lapangan dan analisa hidrometri untuk masing-masing anak sungai.



Gambar 7 : Hidrograf debit angkutan sedimen anak sungai Qs



Gambar 8 : Pemodelan pola sedimentasi sungai Sade

Berdasarkan hasil pengukuran hidrometri lapangan, pengujian laboratorium, dan pemodelan 1D angkutan sedimen Sungai Sade (sebagai salah satu contoh anak sungai yang ditampilkan) didapatkan potensi laju angkutan sedimen 0,000540 m³/detik. Sehingga potensi

volume angkutan sedimen total sungai Sade dalam setahun adalah 17.090 m³/tahun.

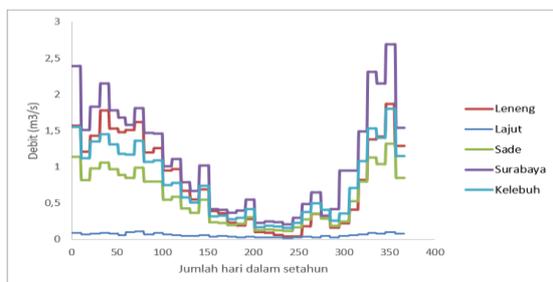
Tabel 5 : Volume sedimen anak-anak sungai

| No | Sungai | Volume Sedimen (m ² / tahun) |
|----|-----------------|---|
| 1 | Sungai Leneng | 549 |
| 2 | Sungai Sade | 17.029 |
| 3 | Sungai Surabaya | 3.910 |
| 4 | Sungai Kelebu | 196 |
| 5 | Sungai Lajut | 3.406 |
| | Total | 25.090 |

Sumber: Olahan Penelitian, 2022

Pemodelan Sedimentasi 2 Dimensi Waduk Eksisting

Data hidrograf sungai dan outflow spillway digunakan sebagai input kondisi batas hulu dan hilir pemodelan, serta parameter hidrometri dimasukkan sebagai input angkutan sedimen. Debit inflow pada 5 (lima) ruas sungai yang menuju inlet waduk Batujai diperoleh dari data hasil kajian hidrologi debit air rendah dimana berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dapat diketahui bahwa sungai Surabaya memiliki debit paling dominan sebagai inflow utama waduk Batujai dengan debit mencapai 2,72 m³/detik pada bulan basah

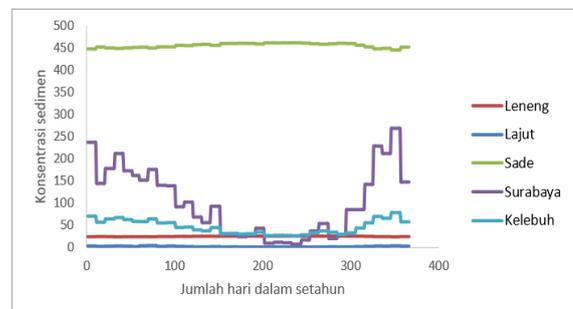


Gambar 9 : Historis 1 tahun debit anak sungai

Muka air outflow pada waduk Batujai diperlukan sebagai input parameter pergerakan pola aliran pada waduk dimana dengan menggunakan tinggi muka air outflow terukur pada rambu ukur yang dimonitor secara berkala, dapat dijadikan sebagai salah satu acuan dalam penentuan debit pengeluaran yang aktual terjadi dan menggambarkan pola operasi yang aktual terjadi pada tahun penelitian.

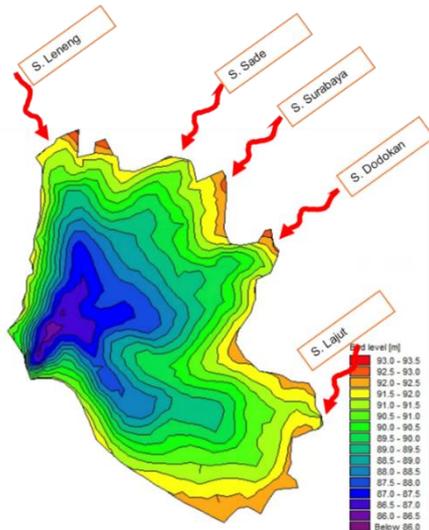


Gambar 10 : Historis 1 tahun muka air outflow waduk Batujai

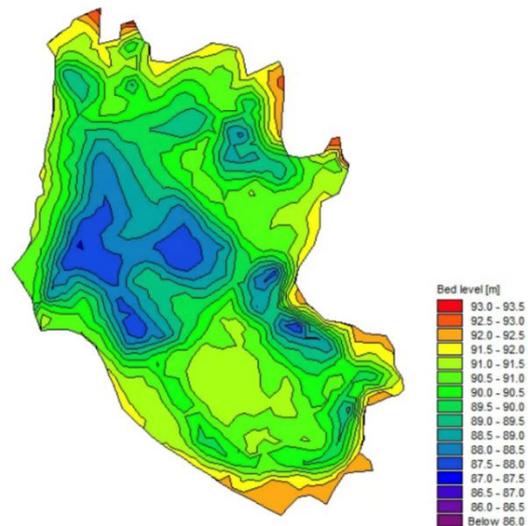


Gambar 11 : Hidrograf konsentrasi angkutan sedimen anak anak sungai

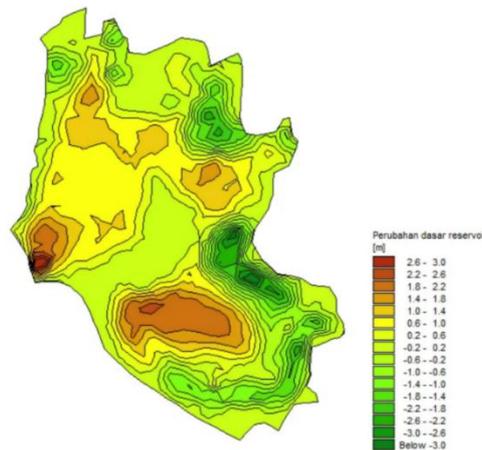
Pola sedimentasi di area waduk setelah simulasi 1 tahun menunjukkan adanya akumulasi pengendapan sedimen terbesar di area tengah waduk yang ditandai dengan warna merah, serta adanya tendensi pergerakan sedimen dari mulut anak sungai ke tengah area waduk yang ditandai dengan warna hijau.



Gambar 12 : Bathimetri awal (inisial)



Gambar 13 : Elevasi dasar reservoir setelah 1 tahun (kondisi eksisting)



Gambar 14 : Perubahan dasar reservoir setelah 1 tahun (eksisting)

Simulasi Pengurangan Laju Sedimentasi

Permasalahan yang ditimbulkan oleh sedimentasi adalah terjadinya pendangkalan waduk sehingga membatasi umur waduk. Umur waduk ditentukan berdasarkan kapasitas tampungan mati (*dead storage*) yang merupakan tampungan maksimum bagi sedimen. Peningkatan laju sedimentasi yang lebih besar dari rencana akan memperpendek umur waduk. Berdasarkan hasil pengukuran topografi dan bathimetri Waduk Batujai Tahun 2018 elevasi tampungan mati atau *dead storage* waduk Batujai adalah pada elevasi +85,00 m, luas areal tampungan mati adalah

0,73 Ha, sedangkan volume tampungan mati tersisa hanya sebesar 2.428 m³. Volume tampungan total waduk berkurang menjadi 23,08 juta m³ dari tampungan awal desain tahun 1982 sebesar 24,82 juta m³.

Proses terjadinya sedimentasi waduk akan dimulai dari daerah hulu genangan waduk kemudian bergerak ketengah. Hal ini disebabkan oleh adanya perubahan kecepatan aliran menjadi lebih lambat sehingga energi yang ditimbulkan akan semakin kecil dan sesuai dengan ukuran dan berat butiran material sedimen akan mengendap karena

energi yang ditimbulkan oleh kecepatan aliran tidak mampu menggerakkan butiran tersebut. Sedangkan untuk material melayang akan mengendap perlahan sesuai dengan berat butiran dan memerlukan waktu tertentu mengendap. Perhitungan tingkat sedimentasi waduk dihitung berdasarkan data hasil pengukuran bathimetri tahun 1982 dan tahun 2018. Kemudian hasilnya dipakai untuk menghitung laju sedimentasi Waduk Batujai.

Tabel 6 : Simulasi Pengurangan Laju Sedimentasi

| Uraian | | Satuan | Bathimetri (m ³) | Pemodelan Hidronimika (m ³) | USLE (m ³) |
|---|------------------------------|-----------------------|------------------------------|---|------------------------|
| Data Teknis | | | | | |
| Tahun Operasi | 1982 | | | | |
| Tahun Pengukuran Bathimetri (Study Impeksi Besar) | 2018 | | | | |
| Umur rencana Waduk | 50 | Tahun | | | |
| Umur waduk Sekarang | 36 | Tahun | | | |
| Sisa Umur waduk dari Rencana | 14 | Tahun | | | |
| Laju Sedimentasi Sesuai Umur Rencana | 20.833 | m ³ /Tahun | | | |
| Volum e Tampung an Mati | Desa in Awal | m ³ | 1.430.000 | 1.430.000 | 1.430.000 |
| | Innspeksi Besar (Tahun 2018) | m ³ | 250.000 | 250.000 | 250.000 |

| Uraian | | Satuan | Bathimetri (m ³) | Pemodelan Hidronimika (m ³) | USLE (m ³) |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------|---|------------------------|
| Volum e Sendimen Mengendap | Thau n Berjalan (1982-2018) | m ³ | 1.180.000 | 1.180.000 | 1.180.000 |
| | | m ³ | | | |
| Laju Sedimentasi Waduk | Eksisting | m ³ /Tahun | 31.053 | 25.090 | 30.313 |
| Sisa Umur WAduk | | tahun | 8 | 10 | 8 |

Sumber: Olahan Penelitian, 2022

Berdasarkan pendekatan simulai pengurangan Laju Sedimentasi diatas, dapat diketahui bahwa sisa umur rencana waduk Batujai hanya tersisa 8 (tahun) tahun berdasarkan kajian USLE. Adapun sisa umur waduk yang moderat adalah sebesar 8 (delapan) tahun berdasarkan perhitungan kapasitas waduk berdasarkan peta bathimetri tanpa mempertimbangkan adanya perubahan tata guna lahan DTA di masa yang akan datang. Untuk menjaga sisa umur rencana waduk Batujai diperlukan adanya penanganan komprehensif pada Zona DTA baik secara teknik sipil maupun non teknis. Berdasarkan permasalahan secara diatas, selanjutnya menjadi acuan dalam identifikasi akar permasalahan lebih mendalam sehingga dapat ditentukan konsep dan strategi penanganan yang akan direkomendasikan untuk dilakukan pada zona DTA waduk Batujai adalah penanganan sipil teknis dan penanganan sipil non teknis (vegetasi).

Hasil pemodelan kondisi eksisting menunjukkan bahwa total potensi volume sedimen yang masuk ke waduk Batujai dari 5

(lima) anak sungai yang ada adalah sebesar 25.090 m³/tahun. Diperlukan alternatif pengendalian sedimentasi yang komprehensif karena keberlanjutan fungsi waduk sebagai sarana penampung dan pengatur air sangat dipengaruhi oleh pengelolaan sedimen. Salah satu strategi yang bisa dilakukan untuk pengendalian sedimen waduk adalah dengan mengurangi masuknya sedimen dengan

mengendalikan erosi dan penangkapan sedimen di anak-anak sungai. Pengendalian ini dapat diwujudkan dengan pembuatan check dam dan bangunan penangkap sedimen di anak-anak sungai. Jika masih diperlukan maka dapat ditambah dengan adanya pengaturan lokasi sedimentasi di waduk dengan pemasangan struktur bangunan pengarah di area genangan waduk.

Tabel 7 : Matriks Permasalahan dan Konsep Strategi Penanganan Zona DTA Batujai

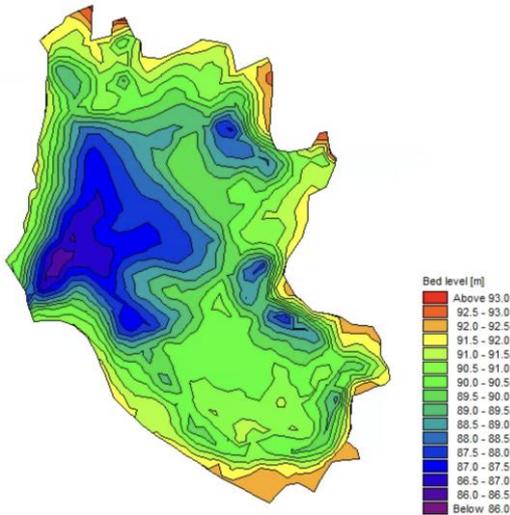
| No | PERMASALAHAN DAN PENYEBAB PERMASALAHAN | LOKUS | | PROGRAM/SUB PROGRAM |
|----|---|--|---|--|
| | | SUB DATA | ADMINISTRATIF | |
| 1 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Tingginya laju sedimentasi yang masuk ke dalam waduk (25.090 m³ / Tahun) “apabila tidak ada upaya, saat ini diperkirakan usia layanan waduk tersisa 10 tahun dari sisa rencana 14 tahun” Sebaran lahan kritis yang ada pada DTA yang masuk ke dalam waduk (total kategori sedang 411,4 Ha dan kategori berat 19,54 Ha | Potensi sedimentasi (m ³ / Tahun) 1. Kalebuh (5,843.48) 2. S.Surabaya (11,908.24) 3. Kali Sade (4,110.01) 4. Kali Lajut (855.88) 5. Kali Leneng (6,119.99) | Kel Praya, Desa Bunut, Kel. Semayan, Kel, Tiwugalih | Penanaman pohon pada areal lahan kritis |
| 2 | Tingginya potensi erosi dan laju erosi pada inleyt DTA sade | DTA sade | Kel Praya, Desa Bunut, Kel. Semayan, Kel, Tiwugalih | Lokasi Pembangunna Bangunan Pengendali Sedimen (Koordinta UTM Zona 50) BPS 1 (X) 421.738 ; (Y) 9,039.866 BPS 2 (X) 421.283 ; (Y) 9,039.039 BPS 3 (X) 421.230 ; (Y) 9,039.725 BPS 4 (X) 421.263 ; (Y) 9,039.071 |

Sumber: Olahan Penelitian, 2022

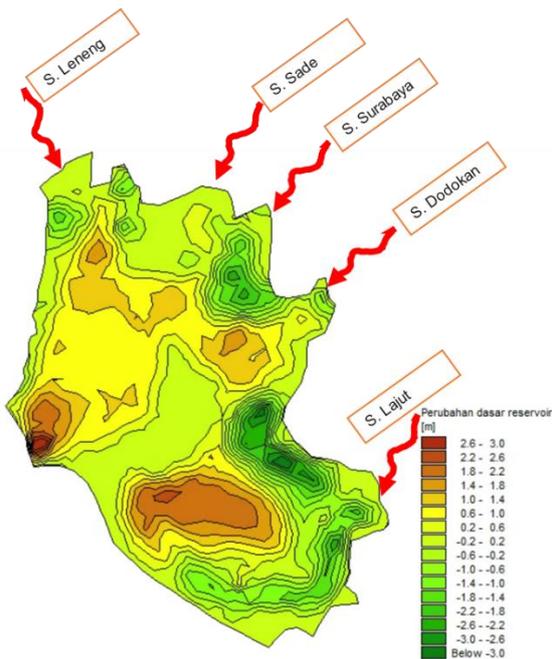
Berdasarkan analisis sedimentasi kondisi eksisting sungai Sade didapatkan potensi volume sedimentasi yang masuk ke waduk Batujai dari Sungai Sade sebesar 17.029 m³. Dengan adanya 4 (empat) Bangunan Pengendali Sedimen di Sungai Sade dengan kapasitas total tampungan sedimen sebesar 14.191 m³, maka potensi volume sedimen yang masuk ke dalam area waduk Batujai dari Sungai Sade dari semula 17.029,00 m³ (hasil

pemodelan sampel sedimen) menurun menjadi 2.837 m³. Selanjutnya, dilakukan pemodelan 2 dimensi sedimentasi di reservoir Bendungan Batujai dengan laju sedimentasi Sungai Sade yang sudah mengalami penurunan akibat adanya cekdam, dimana potensi volume angkutan sedimen total 5 (lima) anak sungai yang masuk ke reservoir Bendungan Batujai dalam setahun menurun dari semula 25.090 m³ menjadi sebesar 10.898

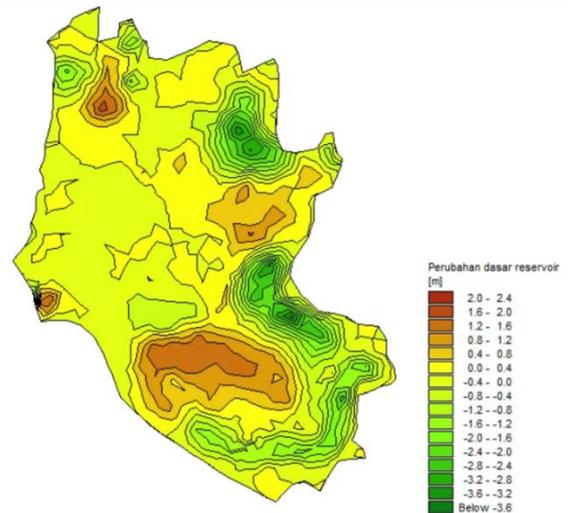
m³. Berdasarkan hasil pemodelan distribusi sedimentasi setelah adanya cekdam di Sungai Sade, pola pergerakan angkutan sedimen relatif ditunjukkan distribusi sedimentasi masih terpusat di tengah reservoir dan area di dekat spillway



Gambar 15 : Bathimetri reservoir setelah ada BPS



Gambar 16 : Perubahan dasar reservoir kondisi eksisting tanpa penanganan struktur



Gambar 17 : Perubahan dasar reservoir kondisi dengan struktur cekdam sungai

Dengan adanya penanganan sedimentasi dengan melakukan kegiatan pengerukan (pada zona area genangan waduk), serta pengendalian di Zona Tangkapan Air (DTA) dengan adanya pembangunan Bangunan Pengendali Sedimen (BPS) dan penanganan konservasi sipil non teknis, diharapkan dapat memperpanjang sisa umur rencana waduk dari semula tersisa 10 tahun menjadi 18 tahun.

Tabel 8 : Simulasi Pengurangan Laju Sedimentasi

| Uraian | Satuan | Bathimetri (m ³) | Pemodelan Hidronimika (m ³) | USLE (m ³) |
|---|--------|------------------------------|---|------------------------|
| Data Teknis | | | | |
| Tahun Operasi | 1982 | | | |
| Tahun Pengukuran Bathimetri (Study Impeksi Besar) | 2018 | | | |
| Umur rencana Waduk | 50 | Tahun | | |
| Umur waduk Sekarang | 36 | Tahun | | |
| Sisa Umur waduk dari Rencana | 14 | Tahun | | |

| Uraian | Satuan | Bathimetri (m ³) | Pemodelan Hidronimika (m ³) | USLE (m ³) | |
|---|------------------------------|------------------------------|---|------------------------|-----------|
| Laju Sediementasi Sesuai Umur Rencana | 20.833 | m ³ /Tahun | | | |
| Volume Tampung Mati | Desain Awal | m ³ | 1.430.000 | 1.430.000 | 1.430.000 |
| | Innspeksi Besar (Tahun 2018) | m ³ | 250.000 | 250.000 | 250.000 |
| Volume Sendimen Menendap | Thaun Berjalan (1982 - 2018) | m ³ | 1.180.000 | 1.180.000 | 1.180.000 |
| Laju Sedimentasi Waduk | Eksisting | m ³ /Tahun | 31.053 | 25.090 | 30.313 |
| Sisa Umur Waduk | | tahun | 8 | 10 | 8 |
| Laju Sedimentasi Waduk setelah adanya BPS | Desain BPS | m ³ /Tahun | 14.191 | | |
| | | tahun | 18 | | |
| Sisa Umur Waduk Yang Dicapai | | | | | |

Sumber: Olahan Penelitian, 2022

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil identifikasi permasalahan, ditindaklanjuti dengan pengumpulan data sekunder dan primer untuk kemudian dilakukan kajian dan analisis, dapat ditarik beberapa kesimpulan berdasarkan penelitian ini sebagai berikut.

1. Saat penelitian dilakukan, terdapat perubahan tataguna lahan dari rencana pola ruang disandingkan terhadap pola ruang eksisting, dimana diperoleh peningkatan perubahan tata guna lahan pada area lahan pemukiman dari semula 1.472 ha, menjadi 1.987 ha dan area perkebunan dari semula 1.758 ha, menjadi 2.064 ha. Dari hasil analisis menunjukkan erosi pada rencana pola ruang sebesar 17.619 t/ha/th, atau sebesar 16.089 m³/th. Erosi ini lebih kecil dibandingkan dengan kondisi eksisting dengan erosi lahan sebesar 263.550 t/ha/th, sebesar 30.313 m³/th maupun berdasarkan hasil pemodelan laju sedimen pada inlet waduk Batujai sebesar 25.090 m³/th.
2. Berdasarkan hasil pemodelan hidrodinamika 2D dengan waktu simulasi selama 1 (satu) tahun menunjukkan adanya akumulasi pengendapan sedimen terbesar di area tengah waduk mencapai dengan perubahan dasar elevasi +0,60 hingga +3,00 meter, area sekitar tubuh dan outlet waduk (bangunan intake) dengan perubahan mencapai +1,00 hingga +3,00 meter, serta adanya tendensi pergerakan sedimen dari mulut anak sungai ke tengah area waduk yang ditandai dengan warna hijau. Luas area yang mengalami pendangkalan yaitu sebesar 523,63 Ha (untuk kenaikan elevasi +0,60 meter terhadap elevasi sebelumnya), 163,89 Ha (+1,20 meter), 94,24 Ha (+1,80 meter) dan 26,34 Ha (+2,40 meter).
3. Hasil kajian menunjukkan bahwa sisa umur rencana waduk Batujai adalah 10 (sepuluh) tahun bila ditinjau berdasarkan pemodelan

1D berdasarkan data primer data hasil pengamatan lapangan laju sedimentasi sesaat (25.090 m³/tahun). Dengan adanya nilai laju sedimentasi yang masuk ke dalam waduk sebesar 25.090 m³/tahun dan apabila tidak ada upaya penanganan sedimentasi di Zona DTA, maka dapat diperkirakan umur rencana waduk tersisa 10 tahun dari sisa rencana 14 tahun. Mempertimbangkan hal tersebut, maka diperlukan adanya Bangunan Pengendali Sedimen (BPS) untuk ditempatkan pada sub DTA yang memiliki input erosi terbesar yaitu Sungai Sade dengan potensi laju sedimentasi yang masuk pada inlet waduk Batujai sebesar 17.029 m³. Dengan adanya 4 (empat) cekdam di Sungai Sade dengan kapasitas rencana total tampungan sedimen sebesar 14.191 m³, maka potensi volume sedimen yang masuk ke dalam area waduk Batujai dari Sungai Sade menurun dari semula 17.029,00 m³ menurun menjadi 2.837 m³. Dengan adanya penurunan ini, maka potensi total sedimentasi yang masuk di reservoir Bendungan Batujai mengalami penurunan dari semula 25.090 m³ menjadi sebesar 10.898 m³. Diharapkan dengan adanya penanganan pembangunan Bangunan Pengendali Sedimen (BPS) serta penanganan konservasi sipil non teknis (diluar dari kegiatan pengerukan pada zona Area Genangan), diharapkan dapat memperpanjang sisa umur rencana waduk dari semula tersisa 10 tahun menjadi 18 tahun.

Adapun saran yang disampaikan berdasarkan penelitian ini antara lain :

1. Perlunya pemetaan terkait pengelolaan sedimen di sistem sungai, baik berupa pengendalian sedimen di wilayah hulu sungai (DTA) sebagai bentuk tindakan pencegahan maupun pengerukan waduk sedimen (area genangan) sebagai bentuk tindakan penanganan sedimentasi pada area genangan waduk.
2. Perlu dilakukan survey dan monitoring sedimentasi waduk dengan cara melakukan kegiatan pengukuran rinci. Volume tampungan terbaru berdasarkan pengukuran bathimetri dilakukan sebelum konstruksi Bangunan Pengendali Sedimen (BPS) untuk kemudian dijadikan data awal (intial data) untuk mengetahui tebal dan volume endapan sedimen waduk yang terjadi dalam kurun waktu tertentu (monitoring secara berkala). Untuk mengetahui distribusi penyebaran endapan sedimen di dalam waduk dan sumber serta jenis sedimen, perlu dilakukan pengambilan contoh material sedimen di dasar waduk untuk memperoleh data besaran butiran (*grain size*), jenis material dan berat jenis.

Tabel 9 : Frekuensi Monitoring Sedimen

| Laju Sedimentasi/ Pengurangan kapasitas | Frekuensi Monitoring Sekurang-kurangnya | Metode |
|--|---|---|
| < 7,5 % per 5 tahun | 5 – 10 tahun (wajib) | - bathimetri - tachimetri - Sampling pada daerah genangan |

| Laju Sedimentasi/ Pengurangan kapasitas | Frekuensi Monitoring Sekurangnya | Metode |
|--|----------------------------------|--|
| < 7,5 % per 5 tahun | 1– 2 tahun (wajib) | - sampling pada muara sungai - analisis distribusi sedimen - bathimetri dan tachimetri |

Sumber : Pedoman Survey dan Monitoring Sedimentasi Waduk, Dep. PU, DJSDA, Februari 2009

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. J. Schleiss, M. J. Franca, C. Juez, and G. De Cesare, “Reservoir sedimentation,” *J. Hydraul. Res.*, vol. 54, no. 6, pp. 595–614, 2016.
- [2] G. Mahmud and S. Darsono, “Analisis sedimentasi dan prediksi distribusi sedimen di Waduk Tilog Kabupaten Kupang,” *Rang Tek. J.*, vol. 3, no. 2, pp. 227–233, 2020.
- [3] J. F. Saefatu and A. Rahmawati, “Peran Masyarakat Terhadap Konservasi Daerah Aliran Sungai (Das) Bagian Hilir Desa Noelmina Kecamatan Takari Kabupaten Kupang,” *J. Geogr.*, vol. 19, no. 2, pp. 110–126, 2023.
- [4] E. Payuyu, F. Lihawa, and I. Dunggio, “Aplikasi Model Builder Pada Sistem Informasi Geografi Untuk Menduga Potensi Erosi Di Sub Das Marisa Kabupaten Gorontalo,” *Gorontalo J. For. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 34–47, 2023.
- [5] D. Harefa, E. S. Gaurifa, M. A. Duha, S. S. Gulo, and R. Fatemaluo, *Teori Statistik Dasar*. CV Jejak (Jejak Publisher), 2023.
- [6] B. S. A. Pamekas, “Ketercapaian Reklamasi Pasca Tambang Terbuka,” *Nat. Resour. Enviromental Manag.*, vol. 1, no. 1, 2023.
- [7] V. A. Damayanti, T. B. Prayogo, and R. W. Sayekti, “Analisa Dampak Sedimen Terhadap Usia Guna Waduk Plumbon,” *J. Teknol. dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 3, no. 2, pp. 346–356, 2023.
- [8] R. A. S. Aliandu, R. S. Y. Wulandari, and B. Rochaddi, “Studi Sebaran Sedimen Feromagnetik Di Perairan Muara Sungai Sambong, Batang,” *Indones. J. Oceanogr.*, vol. 4, no. 4, pp. 74–86, 2023.
- [9] R. ASVIADI and Y. N. KURNIADI, “Pengaruh Sedimen Sungai Cisolok ke Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Cisolok,” *Pros. FTSP Ser.*, pp. 14–19, 2023.
- [10] D. Daryana, A. Chalid, and D. Kusdian, “PEMODELAN TRANSPOR SEDIMEN DI ALUR PELAYARAN PELABUHAN TELUK BATANG, KALIMANTAN BARAT,” *TECHNO-SOCIO Ekon.*, vol. 16, no. 1, pp. 13–25, 2023.
- [11] R. Zaafrano, E. Suhartanto, and L. Prasetyorini, “Analisis Indeks Bahaya Erosi Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) Pada DAS Petung Kabupaten Pasuruan Jawa Timur,” *J. Teknol. dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 3, no. 2, pp. 733–745, 2023.