

STUDI ANALISIS PENGARUH SEDIMENTASI TERHADAP KAPASITAS TAMPUNGAN EFEKTIF WADUK JAMBU

M. Dani Pradana Putra^{1*}, Riman², Abdul Halim³

¹CV. Amorf Multikonstruksi

^{2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama, Malang

*Email Korespondensi: dannysurveyorid@gmail.com

ABSTRAK

Waduk sebagai salah satu infrastruktur vital dalam pengelolaan sumber daya air, memainkan peran penting dalam menjamin pasokan air bagi berbagai kebutuhan manusia. Sedimentasi adalah akumulasi material hasil erosi yang terbawa aliran air dari daerah tangkapan, kemudian mengendap di dasar waduk. Teknik Pengumpulan data primer didapatkan dari hasil uji laboratorium pengambilan sampel sedimen dasar Waduk Jambu dan hasil survei pengukuran konsentrasi sedimen. Data sekunder meliputi data teknis waduk berupa peta DEM dan alur sungai, data *inflow* sedimen tahunan, data *inflow* aliran tahunan, data pengukuran tampungan waduk. Metode yang digunakan untuk perhitungan volume sedimen yang telah mengendap di waduk jambu yaitu menggunakan Metode Einstein. Hasil penelitian didapatkan bahwa kapasitas tampungan efektif waduk pada Elevasi 28,00m sebesar 78.763,73 m³, Elevasi 29,00m sebesar 893.645,05 m³, Elevasi 30,00m sebesar 3.574.619,50 m³ dan Elevasi 31,00m sebesar 5.008.396,87 m³. Volume sedimen yang telah mengendap setelah dilakukan penataan mengalami penurunan yang signifikan dari 13.480,35 m³/tahun menjadi 2.260,06 m³/tahun. Dengan berkurangnya usia guna waduk, kapasitas tampungan efektif pada elevasi yang lebih tinggi akan lebih cepat terpakai. Dengan memperhatikan hubungan ini, manajemen waduk harus mempertimbangkan penataan kawasan, pemeliharaan, dan tindakan perbaikan untuk memperpanjang usia guna waduk dan memastikan ketersediaan air yang memadai. Penurunan volume sedimen yang mencolok tersebut dapat diartikan sebagai keberhasilan dari langkah-langkah mitigasi sedimentasi yang telah diimplementasikan.

Kata kunci : Tampungan Efektif, Usia Guna, Waduk, Metode Einstein, Sedimen.

ABSTRACT

Reservoirs as one of the vital infrastructures in water resources management, play an important role in ensuring water supply for various human needs. Sedimentation is the accumulation of eroded material carried by water flow from the catchment area, then settles at the bottom of the reservoir. Primary data collection techniques are obtained from the results of laboratory tests of Jambu Reservoir bottom sediment sampling and the results of sediment concentration measurement surveys. Secondary data includes reservoir technical data in the form of DEM maps and river flows, annual sediment inflow data, annual flow inflow data, reservoir storage measurement data. The method used to calculate the volume of sediment that has settled in the Jambu reservoir is using the Einstein Method. The results showed that the effective storage capacity of the reservoir at Elevation 28.00m was 78,763.73 m³, Elevation 29.00m was 893,645.05 m³, Elevation 30.00m was 3,574,619.50 m³ and Elevation 31.00m was 5,008,396.87 m³. The volume of sediment that has settled after the arrangement has decreased significantly from 13,480.35 m³/year to 2,260.06 m³/year. With the reduction in the reservoir's lifespan, the effective storage capacity at higher elevations will be depleted more quickly. Considering this relationship, reservoir management should consider area restructuring, maintenance, and improvement actions to extend the reservoir's lifespan and ensure an adequate water supply. The noticeable decrease in sediment volume can be interpreted as the success of sedimentation mitigation measures that have been implemented.

Keywords : Effective Storage, Useful Life, Reservoir, Einstein Method, Sediment.

1. PENDAHULUAN

Waduk sebagai salah satu infrastruktur vital dalam pengelolaan sumber daya air, memainkan peran penting dalam menjamin pasokan air bagi berbagai kebutuhan manusia [1]. Sedimentasi adalah akumulasi material hasil erosi, yang terbawa aliran air dari daerah tangkapan, kemudian mengendap di dasar waduk [2]. Fenomena ini secara bertahap mengurangi kedalaman waduk, yang pada akhirnya menurunkan kapasitas tampungannya. Waduk Jambu, sebagai contoh, telah menunjukkan tanda-tanda penurunan kapasitas tampungannya sejak beberapa tahun terakhir. Meski menjadi salah satu waduk strategis, Waduk Jambu tetap harus menghadapi kenyataan bahwa sedimentasi adalah masalah yang tidak bisa diabaikan [3]. Oleh karena itu, sebuah studi analitis mengenai dampak sedimentasi terhadap kapasitas tampungan efektif Waduk Jambu menjadi sangat penting untuk segera dilaksanakan. Hasil dari studi ini akan menjadi bahan pertimbangan kritis bagi pihak pengelola dalam merancang strategi pengelolaan dan pemeliharaan Waduk Jambu di masa mendatang. Strategi antisipasi dan pengelolaan sedimentasi yang efektif akan menjadi kunci dalam menjamin keberlanjutan manfaat waduk bagi generasi mendatang [4]. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai Waduk Jambu, dengan fokus pada beberapa aspek penting. Pertama, penelitian akan mengevaluasi kapasitas tampungan efektif saat ini dari waduk tersebut. Selanjutnya, penelitian juga akan memeriksa metode dan hasil perhitungan volume sedimen yang telah mengendap di dalamnya. Terakhir, penelitian ini akan mencari hubungan antara usia guna Waduk Jambu dengan kapasitas tampungan efektif yang dimilikinya saat ini. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam pemahaman dan pengelolaan Waduk Jambu untuk masa depan yang lebih berkelanjutan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapasitas Tampungan Efektif

Perhitungan kapasitas tampungan efektif waduk dapat dijabarkan antara lain sebagai berikut:

1) Perhitungan volume waduk

Pada perhitungan volume waduk ini menggunakan Metode Prismoidal dan Kontur [5].

$$A_i = 1/2 (A_1 + A_2) * h \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

A_i adalah volume waduk

A_1 adalah luas permukaan air pada elevasi minimum (m^2)

A_2 adalah luas permukaan air pada elevasi maksimum (m^2)

h adalah tinggi bendungan (m)

2) Perhitungan kapasitas tampungan efektif waduk

Untuk menghitung kapasitas tampungan efektif waduk dengan menggunakan rumus Prismoid.

$$V = (1/6) * h (A_1 + 4M + A_2) \dots \dots \dots (2.2)$$

V adalah volume waduk (m^3)

h adalah tinggi prismoid (m), dalam hal ini adalah perbedaan elevasi antara dua data

A_1 adalah luas permukaan air pada elevasi minimum (m^2)

A_2 adalah luas permukaan air pada elevasi maksimum (m^2)

M adalah luas tengah (m^2), dihitung sebagai akar kuadrat dari $A_1 \times A_2$

2.2 Volume Sedimen

Untuk menghitung besarnya SDR menggunakan Persamaan Vanoni (1975) [6].

$$SR = 0,42 A^{-0,125} \dots \dots \dots (2.3)$$

Di mana:

SR adalah *sediment rating*.

A adalah luas daerah drainase

1) Metode Einstein

Metode Einstein adalah salah satu metode yang digunakan untuk menghitung muatan dasar (*bed load*) dalam sungai berdasarkan prinsip-prinsip hidrodinamika. Metode ini

dikembangkan oleh Albert Einstein pada tahun 1936. Perhitungan *bed load* menggunakan metode Einstein didasarkan pada prinsip pergerakan partikel-partikel sedimen di dasar sungai akibat gaya gesekan dan gaya gravitasi.

Rumus perhitungan *bed load* dengan metode *Einstein* adalah sebagai berikut:

$$q_b = k \cdot \sqrt{d} \cdot \sqrt{s} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

q_b adalah muatan dasar (*bed load*) ($m^3/s/m$).

k adalah koefisien *transport bed load* (adimensional).

$\sqrt{d}$ adalah diameter butir sedimen (m).

$\sqrt{s}$ adalah kemiringan aliran sungai (m/m).

2) Metode Pengukuran Volume Sedimen

Pengukuran volume sedimen di Waduk Jambu dilakukan untuk mengetahui jumlah sedimen yang telah mengendap di waduk tersebut. Sedimen yang mengendap di waduk dapat menyebabkan penurunan kapasitas tampung waduk, sehingga perlu dilakukan pengerukan secara berkala [7].

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur volume sedimen di waduk. Metode yang paling umum digunakan adalah metode pengukuran volume waduk [8]. Metode ini menggunakan persamaan volume waduk, yaitu:

Untuk menghitung sedimentasi menggunakan rumus laju sedimentasi [9], sebagai berikut:

$$\text{Sedimen} = \text{SDR} \times \text{Erosi rata-rata (ton/ha/th)} \times (\text{Luas (Ha)} / \text{Berat Isi (ton/m}^3\text{)}) \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk menghitung sedimentasi yang mengendap menggunakan rumus sebagai berikut [10].

$$\text{Sedimen} = \frac{\text{Luas (Ha)} \times \text{Erosi rata-rata (ton/ha/th)}}{\text{SDR (\%)}} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.3 Usia Guna Waduk

Berikut adalah beberapa konsep yang akan digunakan untuk menghitung usia guna waduk, yaitu:

1. Volume Awal Waduk (V)

Ini adalah volume air yang dapat disimpan oleh waduk pada saat pertama kali dibuat atau mulai digunakan. Volume ini dapat diukur dalam berbagai satuan seperti meter kubik atau kilometer kubik tergantung pada skala proyek dan preferensi.

2. Laju Sedimentasi (S)

Laju sedimentasi adalah jumlah endapan yang menumpuk di dasar waduk setiap tahunnya [11]. Ini bisa bervariasi tergantung pada berbagai faktor, termasuk erosi tanah di daerah aliran sungai, aktivitas manusia di wilayah tangkapan air, dan karakteristik fisik dan geologi dari daerah aliran sungai itu sendiri. Laju sedimentasi biasanya diukur dalam satuan volume per tahun seperti meter kubik per tahun atau kilometer kubik per tahun [12].

Salah satu rumus yang digunakan untuk perhitungan ini adalah sebagai berikut:

$$\text{Usia Waduk} = \frac{V}{S} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

Usia Waduk adalah usia guna waduk dalam tahun.

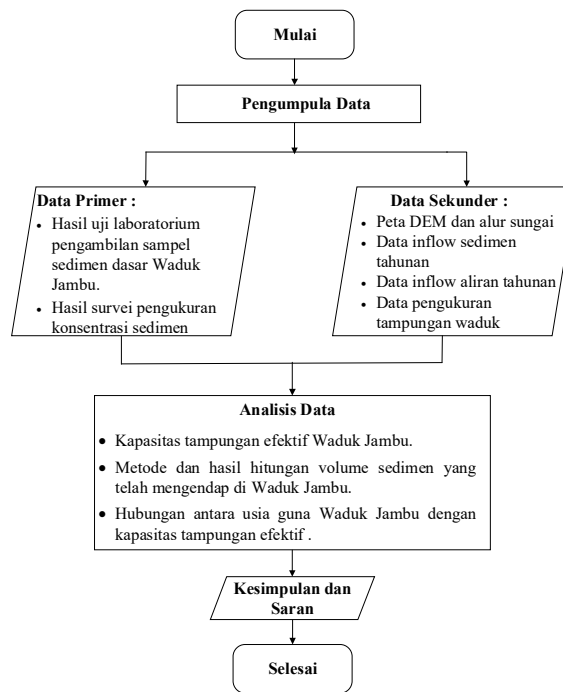
V adalah volume awal waduk dalam satuan volume

S adalah laju sedimentasi dalam satuan volume per tahun

3. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian ini dilaksanakan pada bagian hulu daerah tangkapan air (DTA), kawasan sekitar badan air dan bagian hilir Bendungan Jambu yang terletak di Desa Temba Lae, Kecamatan Pajo, Kabupaten Dompu. Teknik pengumpulan data dibagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui uji laboratorium dan survei pengukuran konsentrasi sedimen di dasar Waduk Jambu. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari sumber

data yang telah ada, seperti peta DEM dan alur sungai, data *inflow* sedimen tahunan, data *inflow* aliran tahunan, dan data pengukuran tampungan waduk. Agar tujuan dalam penelitian yang diharapkan tercapai, maka diperlukan adanya gambaran sistematis tentang pengerjaan penelitian secara keseluruhan berupa diagram alir yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kapasitas Tampungan Efektif Waduk Jambu Tahun 2022

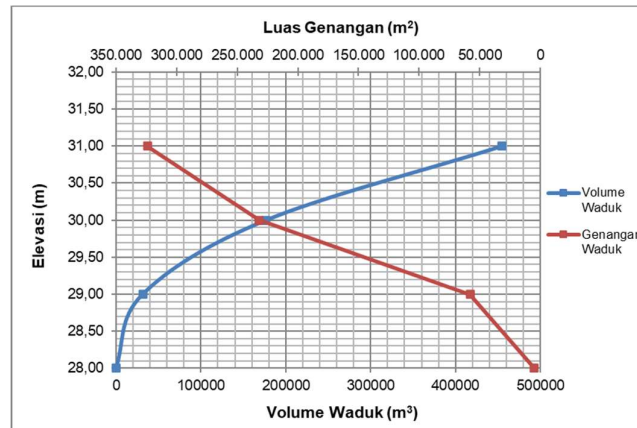
Kapasitas tampungan bruto Waduk Jambu mengalami perubahan dari 970.000 m³ pada tahun 1994 menjadi 31.493,42 m³ pada tahun 2023. Dengan demikian, terdapat penurunan kapasitas tampungan sebesar 938.506,58 m³ selama periode tersebut. Sedimentasi yang terjadi di Waduk Jambu adalah sebesar 34.759,50 m³ per tahun. Jumlah ini akumulasi total sedimen selama periode yang ditentukan. Sedimentasi yang signifikan seperti ini dapat memiliki dampak negatif terhadap kapasitas tampungan dan fungsionalitas waduk.

Tabel 1. Kapasitas Tampungan Waduk

No.	Elevasi	Luas Genangan (m ²)	Volume Waduk (m ³)
1	28,00	5.103,89	0,00
2	29,00	57.882,94	31.493,42
3	30,00	231.878,01	176.373,89
4	31,00	324.255,27	454.440,53

Sumber: Hasil Analisis 2022

Adapun grafik lengkung kapasitas tampungan waduk dari hasil analisis di atas sebagaimana berikut:



Gambar 2. Grafik Lengkung Kapasitas Tampung Waduk
Sumber: Hasil Analisis 2022

Tabel 2. Rekap Kapasitas Tampung Efektif Waduk

No.	Elevasi (m)	Luas Genangan (m ²)	Volume Waduk (m ³) $V = 1/2 (A_1 + A_2) * h$	Kapasitas Tampung Efektif Waduk (m ³) $V = (1/6) * (A_1 + A_2 + 4A_m) * h$
1	28	5.103,89	0	0,00
2	29	57.882,94	31.493,42	21.956,49
3	30	231.878,01	176.373,89	125.528,43
4	31	324.255,27	454.440,53	275.491,34
TOTAL				422.976,27

Sumber: Hasil Analisis 2022

Pada Tabel 2, Kapasitas Tampung Waduk untuk luas genangan didapatkan dari hasil pengukuran, sedangkan volume waduk diperoleh dari perhitungan pada Metode Prismoidal dan Kontur yang akan dijabarkan sebagai berikut:

Elevasi 28 → Volume waduk = 0 m³

Elevasi 29 → Volume waduk = 31.493,42 m³

$$\begin{aligned}
 \text{Rumus} &= A_i = 1/2 (A_1 + A_2) * h \\
 &= 1/2 * (5.103,89 + 57.882,94) * (29 - 28) \\
 &= 31.493,42 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung kapasitas tampung efektif waduk, dapat menggunakan data pada Tabel 4.1. Kapasitas tampung efektif dapat dihitung menggunakan Rumus Prismoid yaitu $V = 1/6 * h (A_1 + 4M + A_2)$. Berikut langkah-langkah perhitungan kapasitas tampung efektif waduk jambu tahun 2022:

- 1) Untuk elevasi 2 (28 m – 29 m):

$$h = 29 - 28 = 1$$

$$A_1 = 5.103,89 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 57.882,94 \text{ m}^2$$

$$M = \sqrt{5.103,89 * 57.882,94}$$

$$M = 17.188,03 \text{ m}^2$$

$$V = 1/6 * h (A_1 + 4M + A_2)$$

$$V = 1/6 * 1 * (5.103,89 + 4 * 17.188,03 + 57.882,94)$$

$$V = 21.956,49 \text{ m}^3$$

4.2 Volume Sedimen yang telah mengendap

Untuk menghitung volume sedimen yang telah mengendap dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\text{Volume Sedimen} = (\text{Luas} * \text{SDR} * \text{Berat Isi} * \text{Sedimen}) / 100$$

Menghitung volume sedimen untuk setiap Sub DTA terlebih dahulu, kemudian menjumlahkannya untuk mendapatkan total volume sedimen [13].

- Untuk Sub DTA 1 (Sungai Nata):

$$\begin{aligned}\text{Volume Sedimen} &= (1.904,39 \text{ Ha} \times 0,163 \times 1,5 \text{ ton/m}^3 \times 7.763,28 \text{ m}^3/\text{th})/100 \\ &= (1.904,39 \times 0,163 \times 1,5 \times 7.743.83)/100 \\ &= 36.053,21 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Hasil perhitungan volume sedimen untuk Sub DTA berikutnya terdapat pada tabel berikut:

Tabel 3. Rekap Volume Sedimen yang telah mengendap

No.	Sub DTA	Luas (Ha)	Berat isi (Ton)	Sedimen (m ³ /th)	SDR (%)	Volume Sedimen yang mengendap (m ³)
		a	b	c	d	a x b x c x d
1	Sub DTA 1 (Sungai Nata)	1.904,39	1,5	7.743.83	0.00163	36.053,21
2	Sub DTA 2 (Sungai Depa)	2.421,81	1,5	13.442,30	0.00159	77.825,36
3	Sub DTA 3 (Sungai Kenda)	727,05	1,5	1.410,59	0.00184	2.825,81
4	Sub DTA 4	164,52	1,5	114,65	0.00222	62,82
	Jumlah	5.217,77		22.730,82		116.757,20

Sumber: Hasil Analisis 2022

4.3 Usia Guna Waduk Jambu

Bendungan Jambu telah beroperasi selama 29 tahun, yaitu dari tahun 1994 hingga 2022. Awalnya, bendungan ini hanya berupa embung yang tidak didesain dengan tampungan mati, tetapi kemudian ditingkatkan menjadi bendungan. Namun, kondisi tampungan saat ini menunjukkan bahwa sedimen sudah di atas elevasi *intake*, yang berarti secara teoritis usia guna Waduk Jambu sudah habis.

Meskipun demikian, secara operasional, Bendungan Jambu masih dapat berfungsi sampai sedimen menutupi *intake* dan kapasitas volume waduk habis. Namun, jika hal tersebut terjadi, maka Bendungan Jambu tidak dapat berfungsi lagi. Usia guna waduk dihitung berdasarkan volume tampungan bruto setelah adanya pengerukan yang dilakukan pada tahun 2022.

Usia Guna Waduk:

- *Inflow* tahunan (I) : 11.500.723,13 m³/th
- *Inflow* sedimen tahun 2022 : 22.745,12 m³/th
- Volume tampungan : 31.493,42 m³
- Pengerukan tahun 2022 : 93.000,00 m³
- Volume tampungan total (C) : 124.493,42 m³
- Kapasitas rasio *inflow* tahunan : 124.493,42 / 11.500.723,13 : 0,01082

Dengan memasukkan nilai perbandingan C/I pada grafik *Gunnar Brune*, maka diperoleh nilai sedimen yang terperangkap sebesar 44,89%.

Perhitungan sisa umur guna Bendungan Jambu [14]:

$$\begin{aligned}&= \frac{\text{Volume Waduk}}{\text{trap efficiency} \times \text{inflow sedimen}} \\ &= \frac{124.493,42}{0,45 \times 22.730,82} \\ &= 12 \text{ tahun}\end{aligned}$$

Sedangkan sisa umur guna Bendungan Jambu setelah dilakukan pengerjaan di DTA:

$$\begin{aligned}&= \frac{\text{Volume Waduk}}{\text{trap efficiency} \times \text{inflow sedimen}} \\ &= \frac{124.493,42}{0,45 \times 6.028,66} \\ &= 46 \text{ tahun}\end{aligned}$$

Waduk Jambu memiliki dua estimasi usia guna yang berbeda, yaitu berdasarkan kondisi eksisting di DTA pada tahun 2022 dan berdasarkan perhitungan kawasan yang dilakukan di DTA. Menurut hasil analisis, usia guna waduk Jambu berdasarkan kondisi eksisting di DTA pada tahun 2023 hanya tersisa selama 12 tahun lagi, sedangkan usia guna waduk Jambu berdasarkan pengerjaan kawasan yang dilakukan di DTA sebesar 46 tahun.

Artinya, jika waduk Jambu tidak mengalami pengerjaan perbaikan atau tindakan perawatan yang cukup, maka waduk tersebut hanya dapat digunakan selama 12 tahun lagi sebelum mencapai akhir

umur pakainya. Namun, jika dilakukan perencanaan, pengerjaan perbaikan kawasan yang tepat serta dilakukan pemeliharaan yang baik, usia guna Waduk Jambu dapat diperpanjang hingga 46 tahun. Sehingga Waduk Jambu dapat berfungsi secara optimal dan aman dalam jangka waktu yang lebih lama, serta memastikan ketersediaan pasokan air yang memadai untuk kebutuhan manusia dan lingkungan hidup di masa yang akan datang [15].

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan yaitu kapasitas tampungan efektif waduk mengalami kenaikan yang signifikan seiring dengan peningkatan elevasi. Peningkatan tersebut terbukti dari elevasi 28,00 m hingga elevasi tertinggi 31,00 m, yang menunjukkan peningkatan drastis dalam kapasitas waduk dari 0 m³ hingga 275.491,34 m³. Sementara itu, analisis volume sedimen di Waduk Jambu menunjukkan perbedaan yang signifikan antara Sungai Depa dengan Sub DTA lainnya, dengan total volume sedimen mencapai 1.303.732,29. Dalam konteks usia guna waduk, terlihat bahwa tanpa intervensi, usia guna waduk hanya tersisa 12 tahun dengan kapasitas tampungan efektif yang terus menurun, menandakan kemungkinan ketidakmampuan waduk memenuhi kebutuhan air yang diperlukan. Namun, dengan pemeliharaan yang tepat, usia guna waduk dapat diperpanjang hingga 46 tahun, memberikan peluang untuk menjaga kapasitas tampungan efektif melalui manajemen sedimen yang lebih baik. Oleh karena itu, kesimpulan dari data tersebut adalah perlunya intervensi yang tepat dalam pemeliharaan waduk, serta analisis lebih lanjut mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi sedimen guna mengoptimalkan pengelolaan sumber daya air.

Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka terdapat beberapa saran yaitu diperlukan upaya efektif dalam pengelolaan waduk secara keseluruhan, termasuk pembaruan desain dan investasi dalam teknologi yang lebih canggih untuk memastikan keberlanjutan dan efisiensi operasional. Perlu diadakan Konservasi Lingkungan yaitu melindungi dan merawat ekosistem di sekitar waduk adalah penting untuk mempertahankan keseimbangan ekologi. Ini dapat mencakup program restorasi habitat, pelestarian biodiversitas, dan pengendalian erosi untuk meminimalkan dampak negatif pada lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. I. Estika, S. Suprihatin, and M. Yani, "Analisis dan Formulasi Strategi Ketersediaan Air Bersih Di Lokasi Transmigrasi (Studi Kasus: Kecamatan Lasalimu Selatan Kabupaten Buton)," *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, vol. 7, no. 2, 2017, doi: 10.29244/jpsl.7.2.114-121.
- [2] J. Arianto, N. M. R. R. C. Perbani, and M. F. P. Kusumah, "Analisis Luas dan Volume Sedimen pada Kanal Intake untuk Menjaga Ketersediaan Pasokan Air (Studi Kasus: PLTGU Muara Tawar, Bekasi Utara)," *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, vol. 2, no. 1, 2018.
- [3] M. A. Sumardi, L. A. Hendratta, and F. Halim, "Analisis Angkutan Sedimen di Sungai Air Kolongan Kabupaten Minahasa Utara," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 6, no. 12, 2018.
- [4] I. Dunggio and A. Chairil Ichsan, "Efektifitas Pembuatan Tanaman Vegetatif Dalam Menanggulangi Erosi dan Sedimentasi (Studi kasus di daerah aliran sungai Limboto Provinsi Gorontalo)," *Jurnal Belantara*, vol. 5, no. 1, 2022, doi: 10.29303/jbl.v5i1.882.
- [5] H. C. Maddi, R. Musa, and H. Ashad, "Kajian Pengendalian Banjir dengan Menggunakan Waduk Regulasi (Studi Kasus: DAS Wanggu Kota Kendari)," *Journal Flyover (JFO)*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [6] J. S. H. Nadi, H. Hasan, and S. D. Devy, "Estimasi Sedimen Total Dengan Metode Sediment Delivery Ratio (SDR) Pada ROM Area Di PT. Bharinto Ekatama, Kutai Barat, Kalimantan Timur," *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, vol. 7, no. 2, 2019.
- [7] D. S. Putra, W. P. Siwu, and D. A. Wulandari, "Pengaruh Sedimentasi Terhadap Fungsi Waduk Karian," *Jurnal Teknisia*, vol. 24, no. 2, 2019.
- [8] Nastain and P. S. Nugroho, "Pemanfaatan Sedimen Waduk Mrica Untuk Bahan Baku Bata Merah," *Dinamika Rekayasa*, vol. 5, no. 2, 2009.

- [9] S. Srijati, B. Rochaddi, and S. Widada, "Analisis Laju Sedimentasi Di Perairan Muara Sungai Waridin Kabupaten Kendal," *J Oceanogr*, vol. 6, no. 1, pp. 246–253, 2017.
- [10] Q. Dianasari, U. Andawayanti, and E. N. Cahya, "Pengendalian erosi dan sedimen dengan arahan konservasi lahan di DAS Genting Kabupaten Ponorogo," *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 95–104, 2018.
- [11] T. Marhendi, "Strategi Pengelolaan Sedimentasi Waduk," *Techno*, vol. 14, no. 2, 2013.
- [12] D. S. Putra, P. S. Atmojo, and D. A. Wulandari, "Kajian Erosi Daerah Tangkapan Air Dalam Pendugaan Kapasitas Tampungan Waduk Pada Akhir Umur Efektif (Studi Kasus: Waduk Gondang, Karanganyar)".
- [13] N. Heryani and N. Sutrisno, "Perencanaan Penggunaan Lahan di Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Batutegei Untuk Mengurangi Sedimentasi," *Jurnal Sumberdaya Lahan*, vol. 6, no. 1, 2012.
- [14] F. Arifandi and C. Ikhsan, "Pengaruh Sedimen Terhadap Umur Layanan Pada Tampungan Mati (Dead Storage) Waduk Krisak Di Wonogiri Dengan Metode USLE (Universal Soil Losses Equation)," *Matriks Teknik Sipil*, vol. 7, no. 4, 2019, doi: 10.20961/mateksi.v7i4.38482.
- [15] M. I. Iman, E. Riawan, B. Setiawan, and O. Abdurahman, "AIR TANAH UNTUK ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM DI MALANG, JAWA TIMUR: Penilaian Risiko Penurunan Ketersediaan Air," *RISET Geologi dan Pertambangan*, vol. 27, no. 1, 2017, doi: 10.14203/risetgeotam2017.v27.438.