

ANALISIS SEDIMENTASI TERHADAP UMUR BENDUGAN BENDO KABUPATEN PONOROGO BERBASIS ARC GIS

Nandika Rahmat Hidayat¹, Eko Noerhayati² dan Ita Suhermin Ingsih³

¹Mahasiswa, Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: 22101051070@unisma.ac.id

²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: eko.noerhayati@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: ita.suhermin@unisma.ac.id

ABSTRAK

One of the primary issues impacting reservoir longevity and performance, especially in multipurpose dams, is sedimentation. The loss of reservoir function is accelerated and effective storage capacity is decreased by excessive sediment influx. This study uses the Universal Soil Loss Equation (USLE) integrated with ArcGIS 10.8 to investigate soil erosion rates, sedimentation rates, and estimate the reservoir lifespan of Bendo Dam, Ponorogo Regency. The double mass curve approach was used to examine the consistency of rainfall data from three nearby sites. Erosion parameters, such as rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), slope length and steepness (LS), and land cover management (CP), were generated by spatial analysis. The Brune method was used to evaluate trap efficiency, and the Sediment Delivery Ratio (SDR) was used to quantify the amount of sediment entering the reservoir. According to the findings, the watershed's average annual rate of soil erosion is 62,825 ton/ha/year. After Bendo Dam is finished in 2021, the reservoir is expected to last for about 96 years, with an estimated sedimentation rate of 99.836,25 m³/year. These results show that watershed management and sediment control are crucial to preserving Bendo Dam's sustainability and functionality.

Kata Kunci : ArcGIS, reservoir lifespan, sedimentation, USLE, watershed

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan air bersih merupakan kebutuhan dasar manusia yang keberlanjutannya sangat bergantung pada kondisi daerah aliran sungai (DAS) sebagai pengatur siklus hidrologi alami [11]. Degradasi DAS akibat perubahan tata guna lahan dapat menurunkan kemampuan infiltrasi, berkurangnya infiltrasi air hujan di kawasan perkotaan memicu peningkatan limpasan permukaan, sehingga memicu erosi dan sedimentasi yang berdampak pada penurunan kuantitas serta kualitas sumber daya air [1][7][12].

Kabupaten Ponorogo memiliki kerentanan hidroklimatis yang tinggi karena kondisi topografi yang beragam dan variasi

curah hujan. Kota Ponorogo sebagai pusat wilayah berada di bagian barat daya Provinsi Jawa Timur dan memiliki karakteristik hidrogeologi dengan tanah bererodibilitas relatif tinggi, khususnya di wilayah lereng, sehingga berpotensi meningkatkan laju erosi pada daerah hulu sungai [2][8].

Bendungan Bendo dibangun dengan targer strategis untuk mengontrol banjir dan menyediakan air untuk irigasi dan sumber air baku. Namun, keberlanjutan fungsi bendungan sangat dipengaruhi oleh laju sedimentasi yang berasal dari erosi DAS hulu. Akumulasi sedimen dapat mengurangi kapasitas tampungan, meningkatkan biaya operasi, serta menurunkan umur layanan bendungan [5][6][11].

Pendugaan laju erosi dan sedimentasi dapat dilakukan menggunakan metode

Universal Soil Loss Equation (USLE) yang terintegrasi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Metode ini mempertimbangkan faktor erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), topografi (LS), tutupan lahan (C), dan praktik konservasi (P), serta mampu mengidentifikasi zona prioritas pengendalian erosi secara spasial [14][13][9]. Dengan demikian, sebagai dasar untuk pengelolaan DAS yang berkelanjutan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sedimentasi terhadap umur Bendungan Bendo Kabupaten Ponorogo dengan menggunakan ArcGIS.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Tingginya laju sedimentasi terutama disebabkan oleh erosi yang terjadi di wilayah DAS Keyang, dengan angka mencapai 5 ton per hektare per tahun.
2. Laju sedimentasi yang semakin besar akan memenuhi tampungan mati dan dapat mempengaruhi umur bendungan.

1.3 Rumusan Masalah

1. Berapa besar laju erosi (soil loss) sedimen di Bendungan Bendo menggunakan metode USLE terintegrasi ArcGIS 10.8?
2. Berapa besar laju sedimentasi (sedimentation rate) yang masuk ke Bendungan Bendo melalui pemodelan Sediment Delivery Ratio (SDR)?
3. Berapa umur guna bendungan (Reservoir lifespan) dengan pendekatan kapasitas tampungan efektif dan laju sedimentasi?.

1.4 Batasan Masalah

1. Tidak membahas Rencana Kegiatan Survey (RAK).
2. Tidak membahas Rencana Anggaran Biaya (RAB).
3. Tidak membahas struktur tubuh bendungan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Bendungan dan Waduk

Bendungan adalah bangunan air yang dibangun melintang sungai untuk menahan dan menyimpan air sehingga terbentuk genangan di hulu, yang dimanfaatkan untuk irigasi,

pengendalian banjir, penyediaan air baku, dan pembangkit listrik [3]. Waduk, di sisi lain, adalah genangan air yang terbentuk sebagai hasil dari pembangunan bendungan dan digunakan untuk konservasi dan pendayagunaan sumber daya air [4].

2.2 Erosi

Erosi dan sedimentasi merupakan proses terlepasnya butiran tanah dari material induknya di suatu lokasi yang kemudian terangkut oleh media air atau angin dan mengalami pengendapan di tempat lain [11]. Terjadinya erosi dan sedimentasi dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, antara lain karakteristik hujan, kemiringan lereng, tutupan vegetasi, serta kemampuan tanah dalam menyerap dan melepaskan air pada lapisan tanah dangkal [12]. Dampak dari erosi tanah yang berlangsung secara terus-menerus dapat menyebabkan peningkatan sedimentasi di sungai, sehingga mengurangi daya tampung alur sungai dan berpotensi menurunkan fungsi hidrologisnya [12].

2.3 Metode USLE

Metode USLE, yang dibuat oleh Wischmeier dan Smith (Wischmeier et al., 1978), adalah metode yang paling banyak digunakan. Wischmeier dan Smith (1978) juga menyatakan bahwa metode Universal Soil Loss Equation (USLE) digunakan untuk menghitung laju erosi, metode ini juga menggunakan data muatan sedimen, berat jenis tanah, dan besarnya nisbah pelepasan sedimen, juga dikenal sebagai nisbah pelepasan sedimen. Berikut adalah persamaan dari metode USLE :

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Nilai A adalah laju erosi tanah ($\text{ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$). Faktor R merupakan faktor erosivitas hujan yang dihitung dari energi hujan dan intensitas hujan maksimum 30 menit (EI_{30}). Faktor K adalah erodibilitas tanah yang menunjukkan kepekaan tanah terhadap erosi. Faktor L menyatakan pengaruh panjang lereng, sedangkan faktor S menunjukkan pengaruh kecuraman lereng terhadap besarnya erosi. Faktor C merupakan faktor penutup lahan dan pengelolaan tanaman, dan faktor P adalah

faktor tindakan konservasi tanah yang mempengaruhi pengurangan erosi. Hubungan antara USLE dengan ArcGIS memungkinkan analisis spasial setiap faktor sehingga distribusi potensi erosi dapat dipetakan secara lebih akurat.

2.4 Usia Guna Bendungan

Usia Endapan Sedimen dan Bendungan Bergantung pada Prosentase Jumlah Sedimen yang Masuk dan Kapasitas Bendungan. Jika jumlah sedimen yang masuk lebih besar daripada kapasitas bendungan, usia guna bendungan akan berkurang dari usia guna yang direncanakan.

Pada umumnya, cara untuk mengetahui umur bendungan adalah dengan mengetahui seberapa lama tampungan mati penuh dengan sedimen. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan teoritis berikut untuk menghitung umur bendungan:

$$T = \frac{v}{Sy \times TE}$$

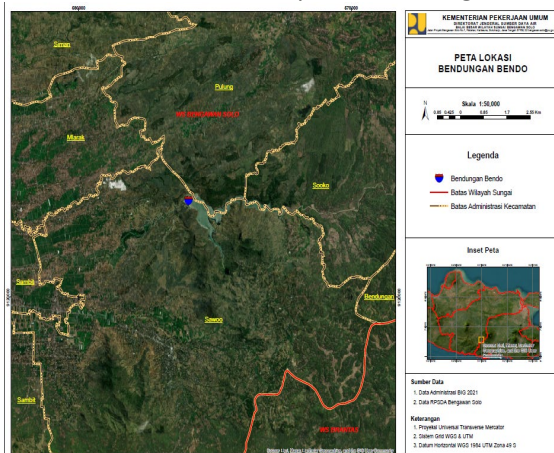
Keterangan:

- T = Umur Bendungan (tahun)
v = Kapasitas tampungan mati (m3)
Sy = Laju sedimen (m3/tahun)
TE = Trap Efficiency

3. METODOLOGI PENELITIAN

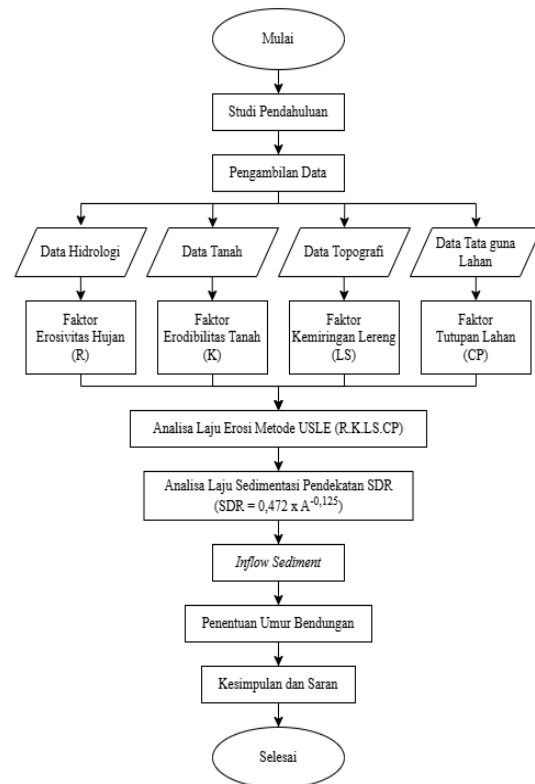
3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi wilayah perencanaan Bendungan Bendo berada di antara dua desa, yaitu Desa Ngindeng dan Desa Kembangan, Kecamatan Sawoo, Kabupaten Ponorogo.



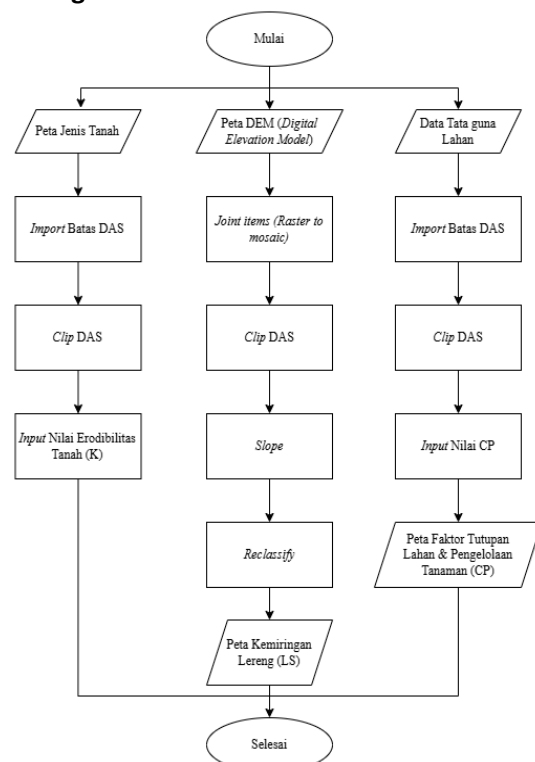
Gambar 1. Peta lokasi penelitian
(Sumber: BBWS Bengawan Solo,2025)

3.2 Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian
(Sumber: Pribadi, 2025)

3.3 Bagan Alir ArcGIS



Gambar 3. Bagan alir ArcGIS
(Sumber: Pribadi, 2025)

4. PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hidrologi

4.1.1 Curah Hujan Tahunan

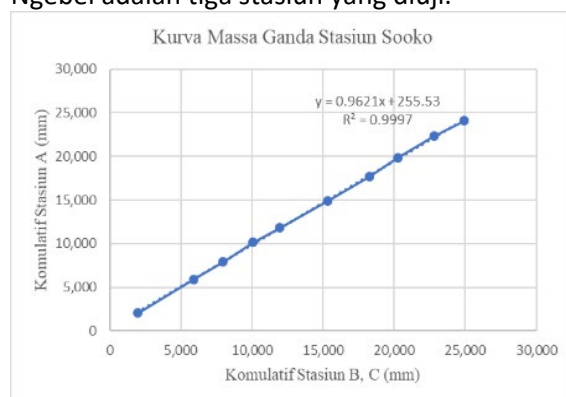
Tabel 1. Curah hujan tahunan

Tahun	Stasiun Sooko (mm)	Stasiun Slahung (mm)	Stasiun Ngebel (mm)
[1]	[2]	[3]	[4]
2015	2066	2038	1902
2016	3839	4358	3521
2017	2009	1972	2139
2018	2255	2168	2070
2019	1661	1919	1830
2020	3045	3505	3229
2021	2811	3229	2628
2022	2188	2046	2015
2023	2455	2784	2255
2024	1772	2026	2215

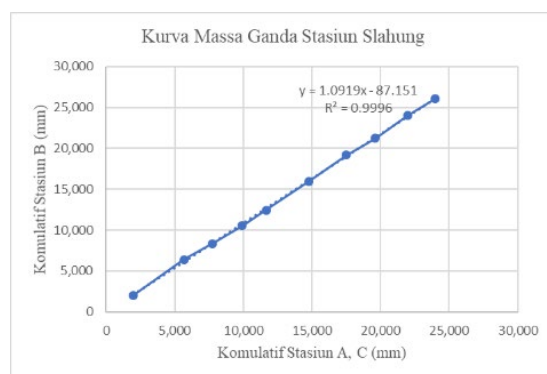
Sumber: BBWS Bengawan Solo

4.1.2 Uji Konsistensi Data Hujan

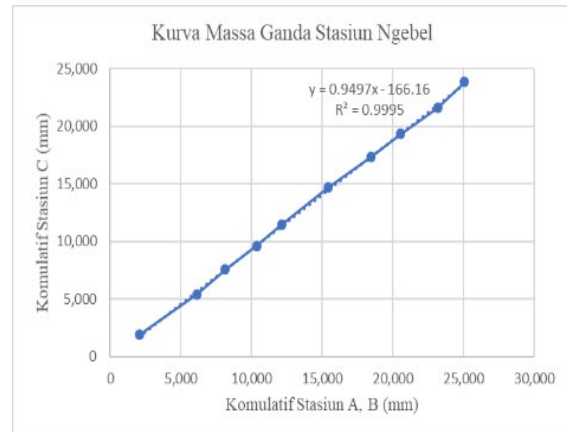
Data curah hujan diuji dengan kurva massa ganda. Stasiun Sooko, Slahung, dan Ngebel adalah tiga stasiun yang diuji.



Gambar 4. Grafik uji konsistensi data hujan stasiun Sooko



Gambar 5. Grafik uji konsistensi data hujan stasiun slahung



Gambar 6. Grafik uji konsistensi data hujan stasiun ngebel

Jumlah curah hujan tertinggi setiap tahunnya diurutkan dari tahun terkecil, kemudian dibandingkan dengan curah hujan kumulatif rata-rata dari stasiun pembanding untuk menghasilkan koefisien determinasi (R^2) yang mendekati angka 1. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data ini memiliki konsistensi data yang baik.

4.2 Erosi DAS

4.2.1 Nilai Erosivitas Hujan (R)

Mencari nilai erosivitas hujan (R) menggunakan rumus EI30 yang dikemukakan oleh Bols dalam Varadilla dkk., (2020).

$$EI30 = 6,119 \cdot R^{1,21} \times D^{-0,47} \times M^{0,53}$$

Maka didapatkan Nilai Erosivitas Hujan pada tiga stasiun di DAS Bendungan Bendo sebagai berikut:

EI30 Stasiun Sooko : 168,9 MJ.cm/ha.th

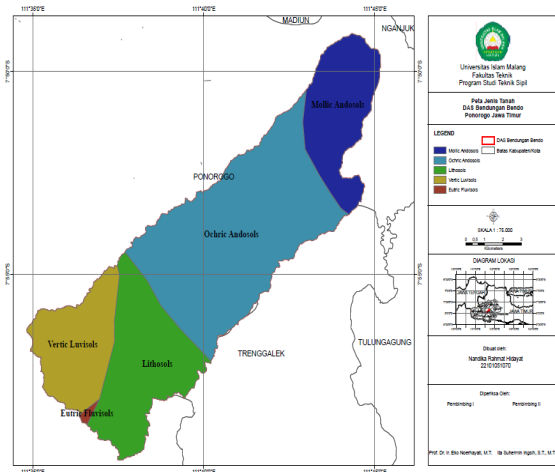
EI30 Stasiun Slahung : 188,8 MJ.cm/ha.th

EI30 Stasiun Ngebel : 158,9 MJ.cm/ha.th

Sehingga didapatkan nilai Erosivitas Hujan (R) rata-rata di DAS Bendungan Bendo adalah sebesar 172,2 MJ.cm/ha.th

4.2.2 Nilai Erodibilitas Tanah (K)

Menghitung nilai faktor erodibilitas tanah dengan menyesuaikan jenis tanah di DAS Bendungan Bendo dengan data jenis tanah .shp yang sudah diklasifikasikan oleh BBWS Bengawan Solo. Karena data ini mencakup wilayah Sungai Bendungan Bendo, hanya diperlukan pemotongan atau digitasi. Oleh karena itu, untuk menentukan nilai faktor erodibilitas tanah, diperlukan bantuan perangkat ArcGIS 10.8.



Gambar 7. Hasil digitasi ArcGIS peta jenis tanah DAS Bendungan Bendo (Sumber: Pribadi, 2025)

Perhitungan nilai K Vertic Luvisols

Diketahui:

$M = 2830$ (tabel klasifikasi tekstur tanah terhadap jenis tanah dan tabel penilaian ukuran butir – M)

$a = (\%C \times 1,724)$

$= (5\% \times 1,724)$ (5% → diambil sebagai acuan maksimum)

$= 0,086$

$b = 4$ (tabel kode struktur tanah)

$c = 4$ (tabel kelas permeabilitas tanah)

$K = [2,731 \cdot M^{1,14} (10^{-4}) (12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (C-3)]/100$

$= [2,731 \times 4390^{1,14} (10^{-4}) (12-0,086) + 3,25 (4-2) + 2,5 (4-3)]/100$

$= 0,370$

Nilai K berdasarkan analisis adalah sebesar 0,370 sehingga sesuai dengan tabel 4.15 nilai tersebut tergolong dalam kelas agak tinggi.

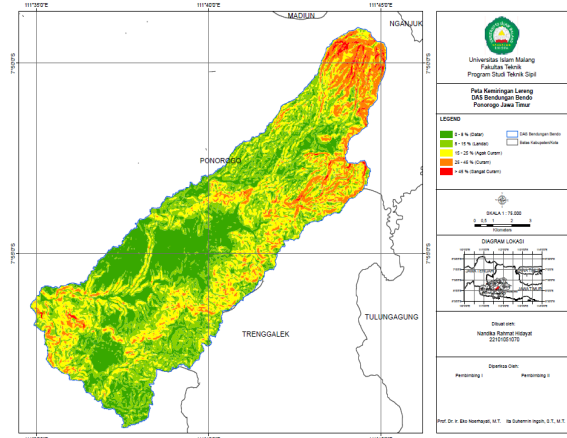
Tabel 2. Nilai erodibilitas tanah berdasarkan nilai K

Jenis Tanah	Luas (Ha)	Persentase (%)	Nilai K
Vertic Luvisols	1989.45	15.04	0.370
Eutric Fluvisols	43.28	0.33	0.462
Ochric Andosols	6228.28	47.07	0.391
Mollic Andosols	2100.03	15.87	0.334
Lithosols	2869.86	21.69	0.456
Total	13230.90	100.0	

Sumber: Hasil perhitungan, 2025

4.2.3 Nilai Panjang Kemiringan Lereng (LS)

Nilai faktor panjang dan kemiringan lereng pada studi ini menggunakan data DEM yang disederhanakan menjadi kontur dan dikonversi lagi menjadi data raster yang diolah menggunakan perangkat ArcGIS 10.8 kemudian data yang telah diolah akan disesuaikan berdasarkan Tabel 3.



Gambar 8. Hasil digitasi ArcGIS Peta kemiringan lereng DAS Bendungan Bendo (Sumber: Pribadi, 2025)

Tabel 3. Nilai kemiringan lereng (LS)

No	Kemiringan Lereng %	Faktor LS
1	0 - 8%	0,4
2	8 - 15%	1,4
3	15 - 25%	3,1
4	25 - 45	6,8
5	> 45%	9,5

Sumber: (Asdak, 2002)

Tabel 4. Nilai LS DAS Bendungan Bendo

Klasifikasi	Kemiringan Lereng	Luas (Ha)	Persentase (%)	Faktor Nilai LS
Datar	0 - 8%	4065.71	31.21	0.4
Landai	8 - 15%	4313.83	33.11	1.4
Agak Curam	15 - 25%	3219.35	24.71	3.1
Curam	25 - 45	1309.72	10.05	6.8
Sangat Curam	> 45%	118.50	0.91	9.5
Total		13027.12	100	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

4.2.4 Nilai Faktor Tutupan Lahan (CP)

Pada penelitian ini, faktor CP dihitung dengan data tutupan lahan Sub DAS Bendungan Bendo .shp pada area DAS Bendungan Bendo, sehingga digitasi data tutupan lahan memerlukan bantuan perangkat ArcGIS 10.8.

Selanjutnya, kondisi tutupan lahan pada DAS Bendungan Bendo diubah, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Nilai CP

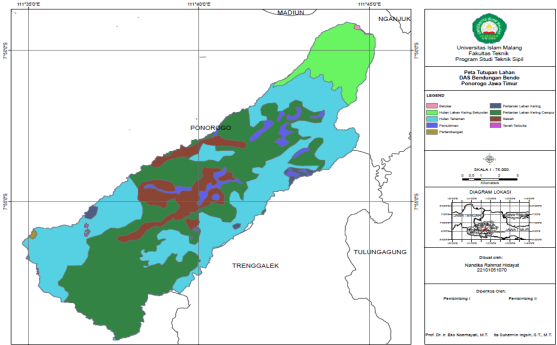
No	Tutupan Lahan	Nilai CP
1	Hutan Tak Terganggu	0,01
2	Hutan	0,001
3	Hutan Mangrove	0,001
4	Hutan Lahan Kering Primer	0,03
5	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,005
6	Semak Belukar	0,05
7	Sawah	0,02
8	Pertanian Lahan Kering	0,5
9	Pertanian Lahan Kering Bercampur Semak	0,43
10	Lahan Terbuka	0,02
11	Perkebunan	0,3
12	Pemukiman	1
13	Pertambangan	1
14	Tambak	0,001
15	Alang - alang	0,02
16	Ladang	0,28
17	Danau	0,001
18	Rawa	0,01
19	Sungai	0,001

Sumber: (Asdak, 2002)

Tabel 6. Nilai tutupan lahan (CP)

Tutupan Lahan	Luas (Ha)	Nilai CP	Persen (%)
Hutan Lahan Kering Sekunder	1255.928	0.005	9.49
Hutan Tanaman	4982.571	0.01	37.66
Tanah Terbuka	14.738	0.02	0.11
Belukar	10.878	0.05	0.08
Pemukiman	438.145	1	3.31
Pertanian Lahan Kering	98.634	0.5	0.75
Pertanian Lahan Kering Campur	5330.230	0.43	40.29
Sawah	1085.984	0.02	8.21
Pertambangan	13.783	1	0.10
Jumlah	13230.89	3.04	100.00

Sumber: Hasil perhitungan, 2025



Gambar 10. Hasil digitasi ArcGIS Peta tutupan lahan DAS Bendungan Bendo (Sumber: Pribadi, 2025)

4.2.5 Erosi (A)

Untuk mencari nilai erosi (A) dilakukan analisis dari hasil kombinasi hasil digitasi ArcGIS secara keseluruhan untuk DAS Bendungan Bendo. Berikut tabel analisis keseluruhan untuk mencari nilai erosi DAS Bendungan Bendo.

Tabel 7. Nilai K, LS, CP

No.	Jenis Tanah		Kelerengan		Tutupan Lahan	
	Nama	Nilai K	Kemiringan	Nilai Ls	Legenda	Nilai CP
1	Mollic Andosols	0.334	0 - 8%	0.4	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.005
2	Mollic Andosols	0.334	8 - 15%	1.4	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.005
3	Mollic Andosols	0.334	15 - 25%	3.1	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.005
4	Mollic Andosols	0.334	25 - 45%	6.8	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.005
5	Mollic Andosols	0.334	>45%	9.5	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.005
6	Ochric Andosols	0.391	0 - 8%	0.4	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.005
7	Ochric Andosols	0.391	8 - 15%	1.4	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.005
8	Ochric Andosols	0.391	15 - 25%	3.1	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.005
9	Ochric Andosols	0.391	25 - 45%	6.8	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.005
10	Ochric Andosols	0.391	>45%	9.5	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.005
11	Vertic Luvisols	0.370	0 - 8%	0.4	Hutan Tanaman	0.01
12	Vertic Luvisols	0.370	8 - 15%	1.4	Hutan Tanaman	0.01
13	Vertic Luvisols	0.370	15 - 25%	3.1	Hutan Tanaman	0.01
14	Vertic Luvisols	0.370	25 - 45%	6.8	Hutan Tanaman	0.01
15	Vertic Luvisols	0.370	>45%	9.5	Hutan Tanaman	0.01
16	Ochric Andosols	0.391	0 - 8%	0.4	Hutan Tanaman	0.01
17	Ochric Andosols	0.391	8 - 15%	1.4	Hutan Tanaman	0.01
18	Ochric Andosols	0.391	15 - 25%	3.1	Hutan Tanaman	0.01
19	Ochric Andosols	0.391	25 - 45%	6.8	Hutan Tanaman	0.01
20	Ochric Andosols	0.391	>45%	9.5	Hutan Tanaman	0.01
21	Mollic Andosols	0.334	0 - 8%	0.4	Hutan Tanaman	0.01
22	Mollic Andosols	0.334	8 - 15%	1.4	Hutan Tanaman	0.01
23	Mollic Andosols	0.334	15 - 25%	3.1	Hutan Tanaman	0.01
24	Mollic Andosols	0.334	25 - 45%	6.8	Hutan Tanaman	0.01
25	Mollic Andosols	0.334	>45%	9.5	Hutan Tanaman	0.01
26	Lithosols	0.456	0 - 8%	0.4	Hutan Tanaman	0.01
27	Lithosols	0.456	8 - 15%	1.4	Hutan Tanaman	0.01
28	Lithosols	0.456	15 - 25%	3.1	Hutan Tanaman	0.01
29	Lithosols	0.456	25 - 45%	6.8	Hutan Tanaman	0.01
30	Vertic Luvisols	0.370	0 - 8%	0.4	Tanah Terbuka	0.02
31	Vertic Luvisols	0.370	8 - 15%	1.4	Tanah Terbuka	0.02
32	Vertic Luvisols	0.370	15 - 25%	3.1	Tanah Terbuka	0.02
33	Vertic Luvisols	0.370	25 - 45%	6.8	Tanah Terbuka	0.02
34	Mollic Andosols	0.334	8 - 15%	1.4	Belukar	0.05
35	Mollic Andosols	0.334	15 - 25%	3.1	Belukar	0.05
36	Mollic Andosols	0.334	25 - 45%	6.8	Belukar	0.05
37	Mollic Andosols	0.334	>45%	9.5	Belukar	0.05
38	Mollic Andosols	0.334	0 - 8%	0.4	Pemukiman	1.00
39	Mollic Andosols	0.334	8 - 15%	1.4	Pemukiman	1.00
40	Mollic Andosols	0.334	15 - 25%	3.1	Pemukiman	1.00
41	Ochric Andosols	0.391	0 - 8%	0.4	Pemukiman	1.00

42	Ochric Andosols	0.39 1	8 - 15%	1.4	Pemukiman	1.00
43	Ochric Andosols	0.39 1	15 - 25%	3.1	Pemukiman	1.00
44	Ochric Andosols	0.39 1	0 - 8%	0.4	Pertanian Lahan Kering	0.50
45	Ochric Andosols	0.39 1	8 - 15%	1.4	Pertanian Lahan Kering	0.50
46	Ochric Andosols	0.39 1	15 - 25%	3.1	Pertanian Lahan Kering	0.50
47	Ochric Andosols	0.39 1	25 - 45%	6.8	Pertanian Lahan Kering	0.50
48	Ochric Andosols	0.39 1	>45%	9.5	Pertanian Lahan Kering	0.50
49	Vertic Luvisols	0.37 0	0 - 8%	0.4	Pertanian Lahan Kering	0.50
50	Vertic Luvisols	0.37 0	8 - 15%	1.4	Pertanian Lahan Kering	0.50
51	Vertic Luvisols	0.37 0	15 - 25%	3.1	Pertanian Lahan Kering	0.50
52	Ochric Andosols	0.39 1	0 - 8%	0.4	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
53	Ochric Andosols	0.39 1	8 - 15%	1.4	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
54	Ochric Andosols	0.39 1	15 - 25%	3.1	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
55	Ochric Andosols	0.39 1	25 - 45%	6.8	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
56	Ochric Andosols	0.39 1	>45%	9.5	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
57	Lithosols	0.45 6	0 - 8%	0.4	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
58	Lithosols	0.45 6	8 - 15%	1.4	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
59	Lithosols	0.45 6	15 - 25%	3.1	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
60	Lithosols	0.45 6	25 - 45%	6.8	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
61	Vertic Luvisols	0.37 0	0 - 8%	0.4	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
62	Vertic Luvisols	0.37 0	8 - 15%	1.4	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
63	Vertic Luvisols	0.37 0	15 - 25%	3.1	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
64	Vertic Luvisols	0.37 0	25 - 45%	6.8	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
65	Eutric Fluvisols	0.46 2	0 - 8%	0.4	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
66	Eutric Fluvisols	0.46 2	8 - 15%	1.4	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
67	Eutric Fluvisols	0.46 2	15 - 25%	3.1	Pertanian Lahan Kering Campur	0.43
68	Ochric Andosols	0.39 1	0 - 8%	0.4	Sawah	0.02
69	Ochric Andosols	0.39 1	8 - 15%	1.4	Sawah	0.02
70	Ochric Andosols	0.39 1	15 - 25%	3.1	Sawah	0.02
71	Ochric Andosols	0.39 1	25 - 45%	6.8	Sawah	0.02
72	Ochric Andosols	0.39 1	>45%	9.5	Sawah	0.02
73	Lithosols	0.45 6	0 - 8%	0.4	Sawah	0.02
74	Lithosols	0.45 6	8 - 15%	1.4	Sawah	0.02
75	Lithosols	0.45 6	15 - 25%	3.1	Sawah	0.02
76	Lithosols	0.45 6	25 - 45%	6.8	Sawah	0.02
77	Vertic Luvisols	0.37 0	0 - 8%	0.4	Pertambangan	1
78	Vertic Luvisols	0.37 0	8 - 15%	1.4	Pertambangan	1
79	Vertic Luvisols	0.37 0	15 - 25%	3.1	Pertambangan	1
80	Vertic Luvisols	0.37 0	25 - 45%	6.8	Pertambangan	1
Rata		0.386	3.5	0.27		

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Maka didapat Nilai erosi (A) dengan metode USLE A=R.K.LS.CP seperti pada tabel 8.

Tabel 8. Nilai Erosi (A)

Erosivitas Hujan	Erodibilitas Tanah	Kemiringan Lereng	Tutupan Lahan	Nilai Erosi (A)
(R)	(K)	(LS)	(CP)	(ton/ha/tahun)
172.2	0.386	3.5	0.27	62.82565678

Sumber: Hasil perhitungan, 2025

4.3 Laju Sedimentasi (Sy)

Sebelum mencari nilai dari *Sediment Yield (SY)*, dibutuhkan nilai *Sediment Delivery Ratio (SDR)*, berdasarkan rumus empiris yang dikemukakan oleh Bouce (1975) didalam (Suripin, 2002) & USDA (1972) dirumuskan sebagai berikut:

$$SDR = 0,472 \times \text{Luas DAS}(\text{Aarea})^{-0,125}$$

Diketahui : Luas Das 13230.89Ha

$$SDR = 0,472 \times \text{Luas DAS}(\text{Aarea})^{-0,125}$$

$$SDR = 0,472 \times 13230.89^{-0,125}$$

$$SDR = 0,144$$

Setelah didapat nilai dari *Sediment Delivery Ratio (SDR)*, maka dapat dicari nilai Laju sedimentasi (Sy) berdasarkan persamaan Weischmeier dan Smith sebagai berikut:

Diketahui :

Erosi (A) : 62,825 ton/ha/tahun

$$SDR : 0,144$$

Massa Jenis Tanah (p): 1,2 T/m³(Sumber: Standar untuk sedimen waduk)

Dirumuskan :

$$Sy1 = \text{Erosi} \times SDR$$

$$Sy1 = 62,825 \times 0.144$$

$$Sy1 = 9,055 \text{ ton/ha/tahun}$$

Konversi:

$$Sy = \frac{Sy1 \times Aarea}{p}$$

$$Sy = \frac{9.055 \times 13230.89}{1.2}$$

$$Sy = 99836,25 \text{ (m}^3\text{/Tahun)}$$

4.4 Trap efficiency (Te)

Menggunakan rumus Brune yaitu sebagai berikut:

$$Y = 100 \left(1 - \frac{1}{1 + ax} \right)^n$$

Keterangan :

Y = efisiensi tampungan

x = perbandingan kapasitas bendungan dengan debit masukan

a = konstanta,

a = 100, untuk rata – rata

a = 65, untuk minimum

a = 130, untuk selubung

n = konstanta,

n = 1,5, untuk rata – rata

n = 2,0, untuk minimum

n = 1,0, untuk selubung

Diketahui :

Kapasitas Bendungan = 43.110.000 m³
(Sumber : BBWS Bengawan Solo)

Inflow Tahunan = 20.992.366 m³ (Sumber :
Perencanaan bendungan)

Y = efisiensi tampungan

x = perbandingan kapasitas bendungan dengan
inflow tahunan

= (Kapasitas Bendungan) / (inflow tahunan)

= 43110000 / 20992366

= 2.054

a = konstanta diambil 100 (untuk nilai rata
rata)

n = konstanta diambil 1,5 (untuk nilai rata rata)
dirumuskan:

$$Te = 100 \left(1 - \frac{1}{1+ax^n} \right)^n$$

$$Te = 100 \left(1 - \frac{1}{1+(100.2.054)^{1.5}} \right)^{1.5}$$

Te = 99,97%

Te = 0,9997

4.5 Umur Bendungan

Tingkat sedimen yang terjadi sangat
memengaruhi keberlangsungan bendungan.
Berdasarkan perhitungan dan data dari
pembahasan sebelumnya, perhitungan
dilakukan untuk memperkirakan kenaikan
sedimen, dan kemudian dihitung berapa umur
sedimen yang diperlukan untuk memenuhi
kapasitas tampungan mati. Semua ini dilakukan
dengan menggunakan rumus empiris berikut:

$$T = \frac{V}{Sy \times Te}$$

V = 9.600.000 m³ (Sumber : Data BBWS
Bengawan Solo)

Te = 0.9997

Sy = 99836.25 (m³/ha/Tahun)

$$T = \frac{9.600.000}{99836.25 \times 0.9997}$$

T = 96.13

T = 96 Tahun

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Besar laju Erosi (soil loss) sedimen di Bendungan Bendo menggunakan metode USLE terintegrasi ArcGIS 10.8 adalah sebesar 62.825 Ton/Ha/Tahun.
2. Besar laju Sedimentasi (sedimentation rate) yang masuk ke Bendungan Bendo melalui pemodelan Sediment Delivery Ratio (SDR) adalah sebesar 99836.25 m³/ha/Tahun.

3. Umur guna bendungan (Reservoir lifespan) dengan pendekatan kapasitas tampungan efektif dan laju sedimentasi adalah sebesar 96 Tahun setelah bendungan selesai dibangun di tahun 2021, yaitu tahun 2117.

5.2 Saran

1. Perlu diadakan perlakuan terhadap Bendungan Bendo, yaitu pengendalian sedimen yang mengendap agar usia guna bendungan dapat terpenuhi sesuai dengan yang direncanakan.
2. Perlu adanya perbaikan tata guna lahan, reboisasi dan penghijauan serta perbaikan alam disekitar Bendungan sehingga laju erosi yang terjadi di Bendungan Bendo bisa diperkecil.
3. Perlu untuk memantau perkembangan tata guna lahan dikarenakan seiring berjalannya waktu terdapat perubahan setiap tahunnya guna menyesuaikan umur bendungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asdak, C. (2007). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [2] Balai Besar Sumber Daya Air. (2022). Karakteristik Hidrogeologi Kabupaten Ponorogo. Jawa Timur: Kementerian PUPR.
- [3] International Commission on Large Dams (ICOLD). 2023. General Synthesis on Dams and Reservoirs. Paris: ICOLD
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Peraturan Menteri PUPR tentang Bendungan dan Bangunan Air*. Jakarta: Kementerian PUPR
- [5] Morris, G.L. & Fan, J. (1997). Reservoir Sedimentation Handbook. New York: McGraw-Hill.
- [6] Noerhayati, E. & Rahmawati, A. (2020). Prediksi Laju Sedimentasi Sungai Keser pada Bendungan Tugu Trenggalek dengan Metode HEC-RAS. Jurnal Rekayasa Sipil, 15(1), 32–41.
- [7] Rokhmawati, A., Ilhamsyah, F., & Suprpto, B. (2023). Recharge wells model based on shape factors for flood management in Klojen District, Malang City. Journal Innovation of Civil Engineering (JICE), 4, 185–194.
- [8] Sakinah, A. P. N., Warsito, & Rokhmawati, A. (2021). Studi alternatif perencanaan struktur baja gedung RSUD Darmayu Ponorogo dengan

- menggunakan sistem rangka pemikul momen.
- [9] Sarifudin, S., Noerhayati, E., & Rokhmawati, A. (2022). Analisis Sedimentasi Berbasis ArcView GIS pada Bendungan Sumi Kabupaten Bima. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 18(3), 210–222.
- [10] Soedibyo. (1993). Teknik Bendungan. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [11] Suprpto, B. & Noerhayati, E. (2018). Analisis Sedimentasi Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas Hulu sebagai Usaha Konservasi Lahan dan Sumberdaya Air. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 3(2), 95–104.
- [12] Suripin. (2002). Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air. Yogyakarta: Andi Offset.
- [13] Varadilla, S.R., Noerhayati, E., & Rahmawati, A. (2019). Studi Pendugaan Sisa Usia Guna Waduk Selorejo dengan Pendekatan Erosi dan Sedimentasi. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 12(2), 120–132.
- [14] Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Washington: USDA Agriculture Handbook No. 537.