



PENINGKATAN KINERJA WADUK KEDUNGOMBO DENGAN MENGEMBALIKAN KAPASITAS TAMPUNGANNYA

Bramantyo Herawanto*¹, Suripin¹, Dyah Ari Wulandari¹

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Sudarto, S.H., Tembalang, Kota Semarang, 50275

(024) 76922650

e-mail: bramantyo.herawanto@gmail.com

Info Artikel

Abstrak

Sejarah Artikel:

Diterima: Okt 2022
Disetujui: Jan 2023
Dipublikasikan: Juni 2023

Keywords:

Distribusi Sedimen,
Kapasitas Tampungannya,
Kinerja Waduk, Waduk
Kedungombo

Dalam perencanaan umur layan waduk, kapasitas tampungan mati (*dead storage*) yang tersedia untuk menampung sedimen selalu memerlukan perhatian khusus. Beberapa penelitian tentang sedimentasi waduk menunjukkan bahwa 70% waduk mengalami masalah sedimentasi, sehingga umur waduk akan berakhir lebih cepat daripada perkiraan. Laju sedimen yang masuk ke dalam waduk akan mengendap di tampungan mati maupun tampungan efektif yang mana akan mempengaruhi kinerja waduk. Oleh karena itu dibutuhkan upaya penanganan untuk meningkatkan kinerja waduk salah satu cara dengan mengembalikan tampungan efektifnya. Berdasarkan hasil pengukuran batimetri Waduk Kedungombo tahun 1989 hingga 2017 didapatkan laju sedimen sebesar 1,954 juta m³/tahun. Dari analisis distribusi sedimen tampungan mati Waduk Kedungombo pada elevasi +65,00 akan terisi penuh pada tahun 2089. Tampungan efektif pada tahun 2089 di elevasi muka air normal +90,00 sebesar 527,71 juta m³ telah berkurang sebesar 106,89 juta m³ dari tampungan efektif awal sebesar 634,6 juta m³. Untuk meningkatkan kinerja waduk dengan cara mengembalikan tampungan efektifnya maka Waduk Kedungombo memerlukan peninggian pelimpah atau muka air normal setinggi 2,26 m dengan luas genangan menjadi 48,72 juta m².

Kata Kunci: Distribusi Sedimen, Kapasitas Tampungannya, Kinerja Waduk, Waduk Kedungombo

Abstract

In planning the service life of a reservoir, the available dead storage capacity to accommodate sediment always requires special attention. Several studies on reservoir sedimentation show that 70% of reservoirs experience sedimentation problems, so that the life of the reservoir will end sooner than expected. The rate of sediment entering the reservoir will settle in the dead reservoir and the effective reservoir which will affect the performance of the reservoir. Therefore, it is necessary to take measures to improve the performance of the reservoir, one way is to restore its effective reservoir. Based on the results of bathymetry measurements of the Kedungombo Reservoir from 1989 to 2017, the sediment rate was 1.954 million m³/year. From the analysis of sediment distribution, the dead reservoir of the Kedungombo Reservoir at an elevation of +65.00 will be filled in 2089. The effective reservoir in 2089 at a normal water level of +90.00 of 527.71 million m³ has decreased by 106.89 million m³ from the initial effective reservoir is 634.6 million m³. To improve reservoir performance by restoring its effective reservoir, the Kedungombo Reservoir requires

an elevation of the overflow or normal water level as high as 2.26 m with an inundation area of 48.72 million m².

Keywords: *Sediment Distribution, Storage Capacity, Reservoir Performance, Kedungombo Reservoir*

© 2023

Universitas Abdurrah

✉ Alamat korespondensi:

Jalan Prof. Sudarto, S.H., Tembalang, Kota Semarang, 50275

(024) 76922650

E-mail: bramantyo.herawanto@gmail.com

ISSN 2527-7073

PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya suatu wilayah berbanding lurus dengan kebutuhan sumber daya air yang semakin tinggi pula. Permasalahan yang dihadapi oleh manusia saat ini salah satunya sumber daya air yang terbatas baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Bendungan merupakan salah satu solusi untuk mengatasi keterbatasan ini dengan cara menampung air dan dapat mengatur suplai air tersebut. Pembangunan bendungan terutama bendungan baru membutuhkan dana yang sangat besar dan lahan yang sangat luas. Oleh karena itu untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan peningkatan tampungan pada bendungan eksisting.

Permasalahan yang terjadi di bendungan adalah sedimentasi yang disebabkan oleh terjadinya erosi di Daerah Tangkapan Air (DTA)[1]. Sedimen merupakan hasil akhir dari suatu proses erosi, baik erosi akibat gerakan air, angin atau akibat gaya gravitasi bumi. Penyebaran sedimentasi di dasar waduk tergantung dari topografi waduk, ukuran butiran sedimen dan pola operasi waduk. Besarnya sedimentasi berpengaruh terhadap volume mati dan volume efektif waduk yang selanjutnya akan mengurangi tingkat operasional waduk serta umur layan waduk [2].

Dalam perencanaan umur layan waduk, kapasitas tampungan mati (*dead storage*) yang tersedia untuk menampung sedimen selalu memerlukan perhatian khusus. Beberapa penelitian tentang sedimentasi waduk menunjukkan bahwa 70% waduk mengalami masalah sedimentasi, sehingga umur waduk akan berakhir lebih cepat daripada perkiraan [3]. Waduk Kedung Ombo yang berfungsi sebagai pengembangan daerah irigasi, pembangkit listrik, serta penyediaan air baku maka perlu adanya data pengukuran kapasitas waduk terkini.

Berdasarkan data pengukuran waduk ini dapat diketahui besarnya volume sedimen yang masuk ke dalam waduk. Laju sedimen yang masuk ke dalam waduk akan mengendap di tampungan mati maupun tampungan efektif yang mana akan mempengaruhi kinerja waduk itu sendiri. Kajian-kajian mengenai sedimentasi waduk menyatakan bahwa laju sedimentasi mengalami peningkatan di tiap tahunnya dikarenakan beberapa hal, diantaranya: alih fungsi lahan di hulu waduk dikarenakan peningkatan jumlah penduduk, intensitas curah hujan di Pulau Jawa

tinggi serta lereng-lereng curam yang memudahkan terjadinya erosi tanah dengan cepat masuk ke dalam sungai yang pada akhirnya sedimen hasil erosi tersebut masuk ke dalam waduk.

Beberapa upaya dapat dilakukan dalam penanganan sedimen di waduk diantaranya melakukan penggelontoran sedimen (*flushing*), pengerukan (*dredging*) maupun modifikasi infrastruktur bendungan. Upaya-upaya ini dapat dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai aspek seperti aspek lingkungan, sosial maupun ekonomi. Di Waduk Kedungombo yang telah beroperasi penanganan sedimen dengan cara pengerukan lebih memungkinkan dilakukan namun biaya yang dibutuhkan sangat besar karena membutuhkan lahan buangan sedimen yang besar. Upaya penggelontoran sedimen dirasa cukup sulit dikarenakan pada Waduk Kedung Ombo tidak mempunyai infrastruktur untuk melakukan penggelontoran sedimen di dasar waduk. Salah satu cara yang cukup memungkinkan adalah memodifikasi infrastruktur bendungan seperti meninggikan pelimpah untuk mengembalikan tampungan efektif ketika umur layan waduk tercapai agar kinerja waduk tetap terjaga. Oleh karena itu diperlukan studi lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja waduk dengan mengembalikan tampungan efektifnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Sedimentasi

Salah satu tantangan terbesar dalam pengelolaan waduk adalah sedimentasi [4]. Sedimentasi adalah proses pengendapan butir-butir tanah yang telah hanyut atau terangkut air pada tempat-tempat yang lebih rendah [5]. Salah satu penyebab tingginya tingkat sedimentasi adalah eksploitasi lahan yang besar yang dilakukan di sekitar daerah tangkapan air dengan mengabaikan aspek konservasi lahan. Proses pengendapan sedimen ini dipengaruhi oleh berbagai faktor [6], diantaranya : (1) Jumlah dan intensitas hujan, (2) Formasi geologi dan tanah, (3) Tata guna lahan, (4) Erosi di bagian hulu, dan (5) Topografi.

Dari sedimen yang telah mengendap terbentuklah pola pengendapan sedimennya. Pola pengendapan sedimen antara waduk yang satu dengan yang lainnya berbeda, karena perbedaan kondisi hidrologi, karakteristik sedimen, geometri waduk dan operasi waduk [7].

Distribusi Sedimen

Distribusi endapan yang terjadi dalam waduk dapat diprediksi dengan suatu pendekatan empirik. Metode tersebut adalah *The Empirical Area Reduction Method* yang dikembangkan oleh Borland-Miller (1973) untuk menghitung distribusi sedimen. Menurut [8] metode ini memiliki tingkat kesalahan lebih kecil dibandingkan metode lainnya seperti metode penambahan luas (*area increment method*). Selanjutnya [7] membuat langkah-langkah dalam menghitung besaran distribusi sedimen.

Analisis Umur Layanan Waduk

Banyak penelitian menunjukkan bahwa umur waduk dapat berkurang jika sedimentasi di daerah tangkapan waduk terlalu tinggi. Sedimentasi yang berlebihan menyebabkan penimbunan waduk secara cepat dan mengurangi kapasitas efektifnya. Hal ini akan mempersingkat umur waduk, mempengaruhi fungsinya untuk irigasi, pembangkit listrik, perikanan, pariwisata dan layanan pengendalian banjir [9]. Untuk menentukan umur suatu waduk, ada 2 (dua) metode yang umum digunakan, yaitu (1) berdasarkan kapasitas tampungan mati (*dead storage*), dan (2) besar kecilnya distribusi sedimen yang mengendap di waduk.

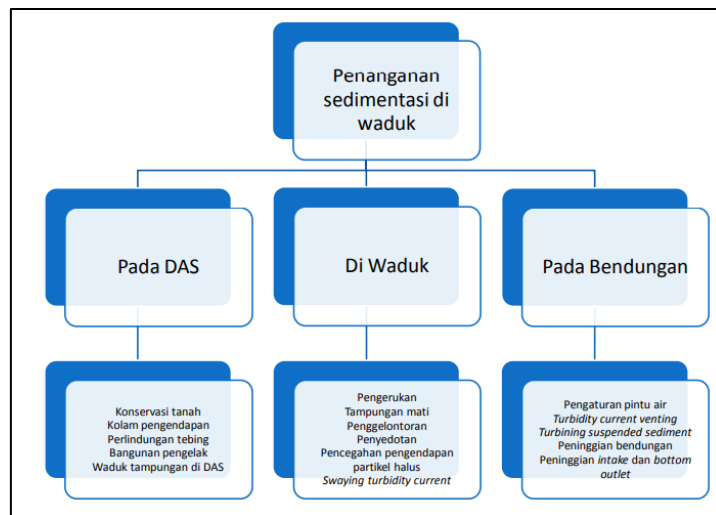
Umur layanan waduk tidak hanya tergantung pada kapasitas *dead storage*, tetapi juga dipengaruhi oleh distribusi sedimen. Meskipun kapasitas *dead storage* masih mencukupi, tetapi saluran pengambilan telah tertutup oleh distribusi sedimen, maka waduk tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Umur layanan waduk dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$Lt = \frac{V\alpha}{Sr} \tag{1}$$

dimana, *Lt* adalah umur layan waduk (tahun), *Vα* adalah volume tampungan mati (m³), dan *Sr* adalah laju pengendapan per tahun (m³/tahun).

Penanganan Sedimentasi Waduk

Menurut [10], penanganan sedimentasi pada waduk dibagi kedalam 3 kelompok penanganan (Gambar 1), diantaranya: (1) Penanganan pada DAS, (2) Penanganan pada genangan waduk, dan (3) Penanganan pada tubuh bendungan.



Gambar 1. Strategi penanganan sedimen [10]

Pada penelitian ini akan dibahas salah satu modifikasi struktur berupa peninggian pelimpah yang bertujuan agar kinerja waduk masih tetap optimal walaupun umur layanan waduk telah tercapai.

METODE

Lokasi Penelitian

Waduk Kedung Ombo terletak pada pertemuan Sungai Uter dan Sungai Serang, yang berada di Dukuh Kedung Ombo Desa Rambat, Kecamatan Geyer Kabupaten Grobogan Provinsi Jawa Tengah. Waduk yang tercipta dengan dibangunnya Bendungan Kedung Ombo terletak di tiga Kabupaten, yaitu Grobogan, Sragen dan Boyolali. Secara geografi Bendungan Kedung Ombo terletak pada koordinat 7°15'33" LS dan 110°50'18" BT.

Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari pengelola Bendungan Kedung Ombo. Data-data yang digunakan berupa data teknis bendungan, dan data hasil pengukuran batimetri waduk pada tahun 1989 dan 2017.

Tahapan Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung umur layan waduk berdasarkan laju sedimen menggunakan persamaan 1.
2. Memilih kurva untuk memplotkan titik hubungan antara nilai tak berdimensi F dan kedalaman relatif (p). Adapun tipe kurva ini ditentukan berdasarkan: (a) Bentuk waduk, (b) Sistem operasi waduk, dan (c) Ukuran sedimen yang masuk ke dalam waduk.
3. Menentukan kedalaman nol baru dapat ditentukan dengan melalui grafik hubungan antara kedalaman relatif (p) dan nilai F. Kedalaman relatif (p) didefinisikan sebagai perbandingan antara kedalaman pada elevasi tertentu dengan kedalaman total waduk, dan nilai F ditentukan melalui persamaan 2.

$$F = \frac{S - V_h}{H \cdot A_h} \quad (2)$$

dimana, S adalah volume sedimen total yang diendapkan di dalam waduk (m³), H adalah kedalaman waduk mula-mula (m), Ah adalah luas total waduk pada kedalaman elevasi H (m²), dan V_h adalah volume total waduk pada kedalaman elevasi H (m³). Nilai kedalaman relatif (p) didapatkan dengan menggunakan persamaan 3.

$$p = \frac{h}{H} \quad (3)$$

dimana, h adalah kedalaman pada elevasi H (m), dan H adalah kedalaman total mula-mula (m)

4. Melakukan distribusi sedimen pada setiap kedalaman waduk berdasarkan kurva tipe waduk yang ditentukan dengan menghitung nilai luas relatif (a) berdasarkan kedalaman relatif (p) menggunakan Persamaan 4 sampai Persamaan 7.

$$\text{Tipe I} \quad a = 5,047p^{1,85}(1 - p)^{0,36} \quad (4)$$

Tipe II $a = 2,487p^{0,57}(1 - p)^{0,41}$ (5)

Tipe III $a = 16,967p^{1,15}(1 - p)^{2,32}$ (6)

Tipe IV $a = 1,486p^{-0,25}(1 - p)^{1,34}$ (7)

Luas terkoreksi (A koreksi) untuk perhitungan distribusi sedimen pada kedalaman waduk dilakukan dengan pembagian luas tampungan awal (Ah) pada elevasi nol baru dengan luas relatif (a) sesuai dengan Persamaan 8.

$$A_{koreksi} = \frac{Ah}{a} \tag{8}$$

5. Menghitung luas distribusi sedimen pada tiap elevasi dengan mengkalikan luas relatif (a) dengan luas terkoreksi (A koreksi) pada langkah 5 untuk setiap elevasi di atas nol baru sesuai persamaan 9.

$$A_{distribusi} = A_{koreksi} \times a \tag{9}$$

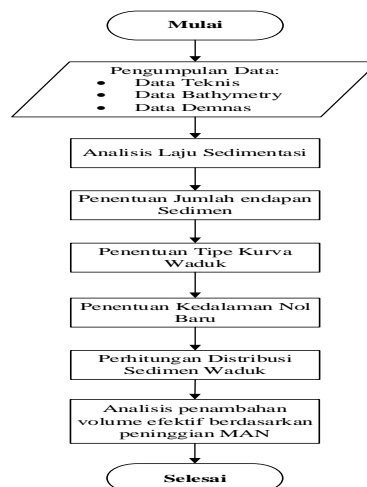
6. Menghitung distribusi sedimen pada tiap elevasi dengan Persamaan 10.

$$V_{sh} = \frac{a_h + a_{h-1}}{2} \Delta h \tag{10}$$

dimana, V_{sh} merupakan volume sedimen pada kedalaman h (m^3), a_h adalah luas terdistribusi pada kedalaman h (m^2), a_{h-1} adalah luas terdistribusi pada kedalaman h-1 (m^2), dan Δh adalah selisih kedalaman (m)

7. Menghitung volume kumulatif sedimen pada tiap elevasi dimulai dari kedalaman nol baru, dimana kumulatif sedimen pada kedalaman nol baru adalah sama dengan vol kapasitas waduk pada kedalaman nol baru.
8. Menghitung volume dan luas tampungan aktual waduk setelah T- tahun dapat diketahui dengan mengurangi volume dan luas tampungan awal dengan distribusi sedimen pada tiap-tiap elevasi.
9. Mencari tinggi muka air normal baru untuk mendapatkan volume tampungan baru.

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju Sedimen dan Analisis Umur Layan Berdasarkan Data Batimetri

Berkaitan dengan laju sedimen, BBWS Pemali Juana telah melakukan studi pengukuran batimetri yang bertujuan untuk mengukur kapasitas tampungan diantaranya pada tahun 1989 dan 2017. Hasil pengukuran batimetri dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Batimetri Waduk Kedung Ombo Tahun 1989 dan 2017 [11]

No	Elevasi TMA (m)	Tahun			
		1989		2017	
		Luas (juta m ²)	Volume (juta m ³)	Luas (juta m ²)	Volume (juta m ³)
1	90	46.030	723.160	46.030	668.433
2	85	34.010	524.110	40.299	452.618
3	80	25.860	383.000	28.221	281.310
4	75	23.240	259.110	17.040	168.158
5	70	15.050	166.230	12.134	95.228
6	65	12.360	95.350	8.033	44.811
7	60	6.740	58.490	3.562	15.821
8	55	4.740	32.130	1.381	3.464
9	50	2.580	14.400	0	0
10	45	1.050	5.880		

Berdasarkan data hasil pengukuran batimetri Waduk Kedung Ombo pada Tahun 1989 dan Tahun 2017 didapatkan volume kapasitas waduk pada muka air normal +90,0 berturut-turut adalah 723,16 juta m³ dan 668,43 juta m³. Dari data tersebut menunjukkan volume kapasitas tampungan waduk berkurang diperkirakan akibat sedimentasi waduk yaitu sebesar 54,73 juta m³ dengan laju sedimen sebesar 1,954 juta m³/tahun. Dengan laju sedimen sebesar 1,954 juta m³/tahun maka umur layan pada Waduk Kedungombo:

$$Lt = \frac{88,40}{1,954} = 45 \text{ tahun}$$

Dari perhitungan diatas maka umur layanan Waduk Kedungombo akan tercapai pada tahun 2062. Untuk memproyeksikan distribusi sedimen dari tahun 2017 hingga 2062 maka didapat sedimen yang mengendap sebesar 87.954.001 m³.

Analisis Distribusi Sedimen

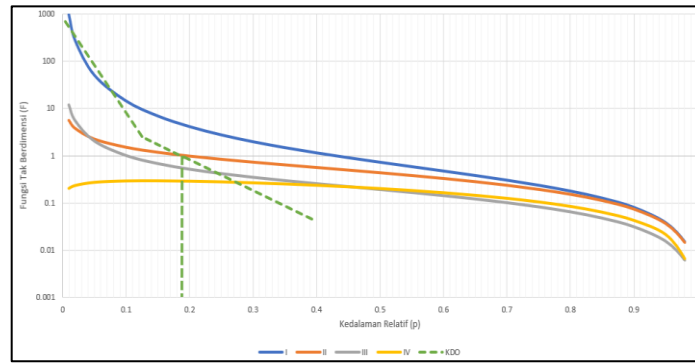
1. Volume sedimen yang mengendap sebesar 87.954.001 m³.
2. Hasil pemilihan tipe kurva dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Pemilihan Tipe Kurva

No.	Deskripsi	Tipe Kurva	Keterangan
1	Bentuk Waduk	II	Dataran - kaki bukit
2	Sistem Operasi Waduk	I atau II	Sedimen terendam di waduk
3	Ukuran Butiran Sedimen	II	Lanau

Berdasarkan Tabel 2 diatas maka dalam perhitungan kedalaman nol baru menggunakan kurva tipe II.

- Menentukan fungsi tidak berdimensi F menggunakan persamaan 2, selanjutnya plotkan nilai F dan p untuk mendapatkan po berdasarkan titik potongnya pada tipe kurva II waduk pada Gambar 3. Dari kurva tersebut diperoleh po = 0,19, sehingga didapatkan kedalaman nol baru 7,68 meter.



Gambar 3. Penentuan po Berdasarkan Hubungan F dan p

- Menghitung distribusi sedimen hingga masa umur layan selesai yaitu pada tahun 2062 yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis Distribusi Sedimen Tahun 2062

No	Elevasi TMA	Kedalaman (H)	Luas (Ah)	Kapasitas Waduk (Vh)	Sedimen mengendap (S)	F	Kedalaman Relatif (p)	Luas Relatif	Luas	Penambahan Volume	Volume Kumulatif	Luas Revisi	Volume Revisi
	m	m	juta m ²	juta m ³	juta m ³	$F = \frac{(S-Vh)}{(H.Ah)}$	(h/Htot)	a	juta m ²	juta m ³	juta m ³	juta m ²	juta m ³
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	90	40	46.03	668.43	87.95	(0.32)	1.00	0.0000	-	5.573	87.954	46.03	580.48
2	85	35	40.30	452.62		(0.23)	0.88	0.9825	2.2291	12.354	82.381	38.07	370.24
3	80	30	28.22	281.31		(0.17)	0.75	1.1957	2.7126	13.999	70.027	25.51	211.28
4	75	25	17.04	168.16		(0.12)	0.63	1.2726	2.8871	14.369	56.028	14.15	112.13
5	70	20	12.13	95.23		(0.01)	0.50	1.2609	2.8605	13.803	41.659	9.27	53.57
6	65	15	8.03	44.81		0.13	0.38	1.1727	2.6605	12.340	27.856	5.37	16.95
7	60	10	3.56	15.82		0.51	0.25	1.0029	2.2754	4.981	15.516	1.29	0.30
Po	57.680	7.680	2.550	10.087		0.76	0.192	0.8896	2.0182	10.087	10.09	0.00	0.00
8	55	5	1.38	3.46		1.53	0.13	1.1390	2.5840	6.460	6.460	0.00	0.00
9	50	0	0.00430	0.00		510.77	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00

Keterangan :

- Elevasi Muka Air Normal +90,00
- Elevasi Tampungan Mati +65,00
- Kedalaman Nol Baru

Berdasarkan analisis pada Tabel 3 disimpulkan bahwa pada tahun 2062 umur layan waduk belum tercapai dikarenakan pada tampungan mati El. +65,00 masih terdapat volume tampungan yang didapat dari volume revisi sebesar 16,95 juta m³ artinya pada tampungan mati belum sepenuhnya terisi oleh sedimen. Oleh karena itu untuk mencari umur layan waduk sebenarnya dilakukan analisis distribusi sedimen lanjutan hingga volume tampungan mati terisi penuh oleh sedimen. Analisis distribusi lanjutan dicoba sesuai umur layan rencana Waduk Kedungombo 100 tahun sejak selesai pembangunan yaitu pada 2089. Dengan mengalikan laju sedimen terhadap lama umur layan waduk dari 2017 hingga 2089 maka didapat sedimen yang mengendap sebesar 140.726.402,24 m³. Hasil analisis distribusi lanjutan pada 2089 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis Distribusi Sedimen Tahun 2089

No	Elevasi TMA	Kedalaman (H)	Luas (Ah)	Kapasitas Waduk (Vh)	Sedimen mengendap (S)	F = $\frac{(S-Vh)}{(H.Ah)}$	Kedalaman Relatif (p)	Luas Relatif	Luas	Penambahan Volume	Volume Kumulatif	Luas Revisi	Volume Revisi
	m	m	juta m ²	juta m ³	juta m ³		(h/H _{tot})	a	juta m ²	juta m ³	juta m ³	juta m ²	juta m ³
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	90	40	46.03	668.43	140.726	(0.29)	1.00	0.0000	0.0000	8.879	140.726	46.03	527.71
2	85	35	40.30	452.62		(0.19)	0.88	0.9825	3.5517	19.684	131.847	36.75	320.77
3	80	30	28.22	281.31		(0.12)	0.75	1.1957	4.3221	22.305	112.163	23.90	169.15
4	75	25	17.04	168.16		(0.04)	0.63	1.2726	4.6000	22.894	89.857	12.44	78.30
5	70	20	12.13	95.23		0.09	0.50	1.2609	4.5577	21.992	66.963	7.58	28.26
6	65	15	8.03	44.81		0.30	0.38	1.1727	4.2390	19.519	44.971	3.79	0.00
Po	60,040	10,040	3,598	16,053		0.87	0.251	1,0047	3,6317	16,053	16,053	0,00	0,00
7	60	10	3.56	15.82		0.88	0.25	1.0029					
8	55	5	1.38	3.46		2.48	0.13	1.1390					
9	50	0	0.0043	0.00		817.23	0.00	0.0000					

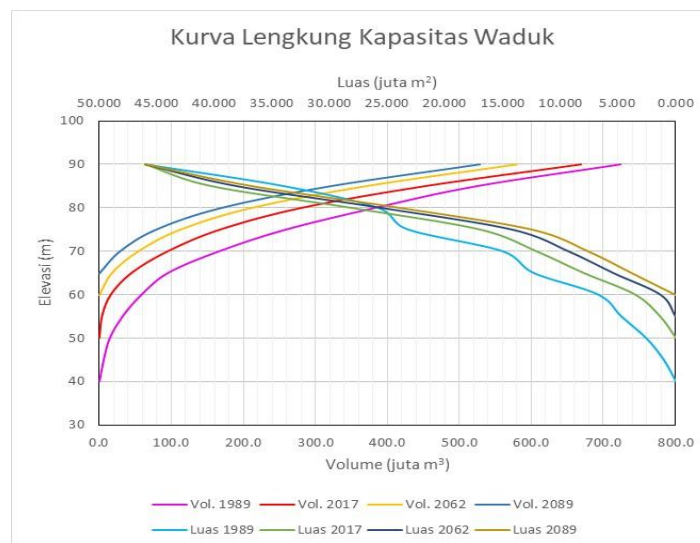
Keterangan :
 : Elevasi Muka Air Normal +90,00
 : Elevasi Tampungan Mati +65,00
 : Kedalaman Nol Baru

Hasil analisis distribusi sedimen tahun 2089 tampungan mati telah terisi penuh yang berarti bahwa umur layan Waduk Kedungombo telah tercapai. Perubahan kapasitas dan luas tampungan yang terjadi di Waduk Kedungombo hingga tercapainya umur layan dapat dilihat pada

Tabel 5 dan Gambar 4.

Tabel 5. Hasil Analisis Distribusi Sedimen Tahun 1989, 2017, 2062 dan 2089

No.	Kedalaman (m)	Tahun							
		1989		2017		2062		2089	
		Luas (juta m ²)	Volume (juta m ³)	Luas (juta m ²)	Volume (juta m ³)	Luas (juta m ²)	Volume (juta m ³)	Luas (juta m ²)	Volume (juta m ³)
1	90	46.030	723.160	46.030	668.433	46.030	580.479	46.030	527.707
2	85	34.010	524.110	40.299	452.618	38.070	370.236	36.748	320.770
3	80	25.860	383.000	28.221	281.310	25.509	211.283	23.899	169.147
4	75	23.240	259.110	17.040	168.158	14.153	112.130	12.440	78.300
5	70	15.050	166.230	12.134	95.228	9.274	53.569	7.577	28.264
6	65	12.360	95.350	8.033	44.811	5.372	16.955	3.794	0.000
7	60	6.740	58.490	3.562	15.821	1.287	0.000	0.000	0.000
8	55	4.740	32.130	1.381	3.464	0.000	0.000		
9	50	2.580	14.400	0.000	0.000				
10	45	1.050	5.880						
11	40	0.000	0.000						



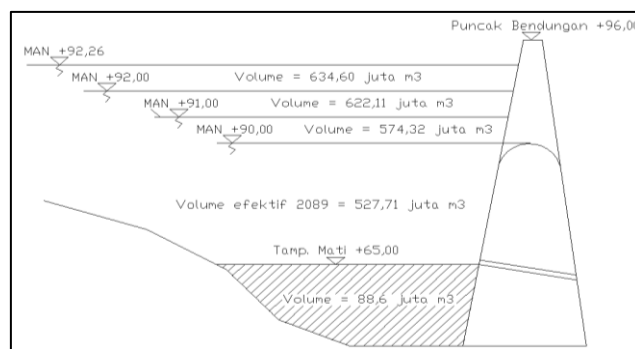
Gambar 4. Kurva Lengkung Kapasitas Waduk Kedungombo

Upaya Mengembalikan Tampungan Efektif Waduk

Hasil analisis distribusi Waduk Kedungombo menunjukkan umur layan waduk tercapai pada tahun 2089 yang ditandai dengan volume pada elevasi tampungan mati +65,00 telah habis. Disamping telah terisinya tampungan mati sedimen ini juga menyebabkan berkurangnya tampungan efektif waduk yang mengakibatkan kinerja waduk dalam memberikan layanan tidak lagi optimal seperti sedia kala. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah upaya penanganan untuk mengembalikan tampungan efektif tersebut, salah satu caranya adalah meninggikan muka air waduk dengan cara meninggikan pelimpah untuk mendapatkan volume efektif yang hilang. Berdasarkan hasil distribusi sedimen pada tahun 2089 sisa volume efektif sebesar 527,71 juta m³ apabila dibandingkan dengan volume efektif awal sebesar 634,60 juta m³ maka volume tambahan yang diperlukan sebesar 106,89 juta m³. Besarnya penambahan volume tambahan yang didapat tiap elevasi diatas muka air normal +90,00 dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 5.

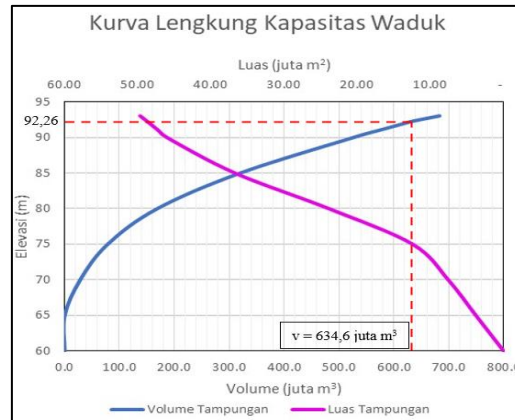
Tabel 6. Volume Efektif Tambahan Setelah Meninggikan Muka Air Normal

No.	Elevasi (m)	Luas Genangan (m ²)	Volume Eksisting (juta m ³)	Volume Tambahan (juta m ³)	Volume Revisi (juta m ³)
1	93	49.64		49.02	683.62
2	92.26	48.72		12.49	634.60
3	92	48.39		47.79	622.11
4	91	47.19		46.61	574.32
5	90	46.03	527.71		527.71
6	85	36.75	320.770		320.77
7	80	23.90	169.147		169.15
8	75	12.44	78.300		78.30
9	70	7.58	28.264		28.26
10	65	3.79	0.000		0.00



Gambar 5. Tampungan Waduk Setelah Meninggikan Muka Air Normal

Perhitungan volume tambahan menunjukkan untuk mengembalikan volume efektif dibutuhkan peninggian muka air normal setinggi 2,26 m yaitu pada elevasi +92,26. Kurva hubungan antara elevasi, kapasitas tampungan dan luas tampungan setelah mengalami perubahan muka air normal dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva Lengkung Kapasitas Waduk Kedungombo Setelah Meningkatkan Muka Air Normal

SIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Dari hasil pengukuran batimetri tahun 1989 hingga 2017 didapatkan laju sedimen sebesar 1,954 juta m^3 /tahun. Analisis umur layan Waduk Kedungombo akan tercapai pada tahun 2062, 27 tahun lebih cepat dari umur layan rencana 100 tahun namun perhitungan umur layan ini mengasumsikan bahwa sedimen di waduk seluruhnya masuk ke dalam tumpungan mati (*dead storage*). Berdasarkan analisis distribusi sedimen tumpungan mati Waduk Kedungombo pada elevasi +65,00 akan terisi penuh pada tahun 2089 yang artinya umur layan waduk sesuai dengan perencanaan.
2. Tumpungan efektif pada tahun 2089 di elevasi muka air normal +90,00 sebesar 527,71 juta m^3 telah berkurang sebesar 106,89 juta m^3 dari tumpungan efektif awal sebesar 634,6 juta m^3 .
3. Untuk meningkatkan kinerja waduk dengan cara mengembalikan tumpungan efektifnya maka Waduk Kedungombo memerlukan peninggian pelimpah atau muka air normal setinggi 2,26 m dengan luas genangan menjadi 48,72 juta m^2 .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Zefri, D. A. Wulandari, and Suripin, "Penerapan HEC-HMS untuk Pendugaan Erosi dan Sedimentasi Metode MUSLE pada Waduk Paselloreng di Kabupaten Wajo," vol. 6, no. 2, pp. 103–116, 2022.
- [2] Suroso, Ruslin Anwar M, and C. R. M, "Studi Pengaruh Sedimentasi Kali Brantas Terhadap Kapasitas dan Usia Rencana Waduk Sutami Malang," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 3, no. September, pp. 119–122, 2007.
- [3] D. Samatha Putra, P. Sapto Atmojo, and D. Ari Wulandari, "Optimalisasi Kegiatan Pemeliharaan Pada Waduk Gondang, Kabupaten Karanganyar Terhadap Sedimentasi," *Briliant J. Ris. dan Konseptual*, vol. 5, no. 2, p. 394, 2020, doi: 10.28926/briliant.v5i2.447.

- [4] W. Nur Harjanti, S. Darsono, and Suripin, “Analisis Distribusi Sedimen pada Waduk Raknamo dengan Metode Empiris Pengurangan Luas,” *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 19, no. 01, pp. 1–09, 2020, [Online]. Available: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- [5] T. Marhendi, “Strategi Pengelolaan Sedimentasi Waduk,” *Techno*, vol. 14, no. 2, pp. 29–41, 2013.
- [6] R. I. Strand and E. L. Pemberton, “Reservoir sedimentation technical guidelines for Bureau of Reclamation,” *US Bur. Reclamation, Denver, Color.*, p. 48, 1982.
- [7] G. L. Morris and J. Fan, “Reservoir Sedimentation Handbook,” 2010.
- [8] S. Tukaram, N. PT, and G. MR, “Comparison of Area Reduction Method and Area Increment Method for Reservoir Sedimentation Distribution - Case Study Ujjani Dam,” *Int. J. Res. Adv. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 108–111, 2016.
- [9] J. Sutrisno, B. Sanim, A. Saefuddin, and S. R. P. Sitorus, “Prediksi erosi dan sedimentasi di Sub Daerah Aliran Sungai Kedung Kabupaten Wonogiri,” *Media Konserv.*, vol. 16, no. 2, pp. 78–86, 2011.
- [10] UNESCO International Sediment Initiative, “Sediment Issues & Sediment Management in Large River Basins Interim Case Study Synthesis Report,” *Report*, p. 88, 2011.
- [11] BBWS Pemali Juana, “Rencana Tindak Darurat Bendungan Kedungombo,” Semarang, 2017.