

# **SIKLUS : Jurnal Teknik Sipil**

p- ISSN 2443- 1729 e- ISSN 2549- 3973 Vol 7, No. 2, Oktober 2021 , pp 14-25

## **Dinamika Sedimentasi Waduk Kedungombo Kabupaten Grobogan Provinsi Jawa Tengah**

**Ifan Azwar Nasution<sup>\*1</sup>, Dyah Ari Wulandari<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

Submitted : 16 Juni 2021;

Accepted: 27 Juli 2021

### **Abstrak**

Sedimentasi merupakan masalah yang paling umum terjadi pada waduk. Sedimentasi juga merupakan tantangan terbesar dalam operasi waduk. Pemanfaatan kapasitas tampungan waduk merupakan faktor utama terpenuhinya manfaat sebuah bendungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dinamika sedimentasi yang terjadi pada waduk Kedungombo selama beroperasi 28 tahun. Dinamika sedimentasi meliputi analisa perubahan kapasitas tampungan, laju sedimentasi, distribusi sedimentasi, pola sedimentasi dan umur teknis layanan waduk. Metode penelitian dilaksanakan berdasarkan peninjauan lapangan, studi literatur kajian-kajian terdahulu dan pengumpulan data sekunder dari pengelola bendungan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan diketahui bahwa sisa tampungan total saat ini sebesar 94,47%, berdasarkan analisa distribusi sedimentasi pada 4 kali periode pengukuran (1994, 2003, 2012 dan 2017) didapatkan rata-rata sedimen yang mengendap ditampungan mati adalah 42,95%, tampungan efektif 51,08% dan tampungan banjir 5,97%, pola sedimentasi Waduk adalah pola *uniform*, usia teknis waduk berakhir pada tahun 2064 atau 43 tahun lagi sejak tahun 2021.

**Kata Kunci :** dinamika sedimentasi; distribusi sedimentasi; pola sedimentasi; prediksi umur teknis waduk

### **Abstract**

*Sedimentation is the most common problem in reservoirs. Sedimentation is also the biggest challenge in reservoir operations. Utilization of reservoir storage capacity is the main factor in fulfilling the benefits of a dam. This study aims to determine the dynamics of sedimentation that occurred in the Kedungombo reservoir during 28 years of operation. Sedimentation dynamics include analysis of changes in storage capacity, sedimentation rate, sedimentation distribution, sedimentation pattern and technical age of reservoir service. The research method was carried out based on field observations, literature studies and secondary data from BBWS Pemali Juana. Based on the research conducted, it is known that the current total remaining reservoir storeges is 94,47%, based on the analysis of the distribution of sedimentation in 4 measurement periods (1994, 2003, 2012 and 2017) it is found that the average sediment deposited in the dead storage is 42,95%, effective storage 51.08% and flood storegae 5,97%, the pattern of*

*reservoir sedimentation is uniform type, reservoir technical age ends in 2064 or 43 years from 2021.*

**Keywords :** *sedimentation dynamics; sedimentation distribution; sedimentation pattern; prediction of reservoir technical life*

## A. PENDAHULUAN

Sedimentasi merupakan permasalahan yang paling sering terjadi pada waduk dan mempengaruhi umur layanan waduk. Banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya sedimentasi di waduk diantaranya adalah kondisi hidrologi, *inflow* sedimen, bentuk geometri waduk, operasi waduk, dan karakteristik sedimen (Morris & Fan, 1997). Pengukuran kapasitas tampungan waduk secara berkala diperlukan untuk menentukan dan mengestimasi besarnya laju sedimentasi serta untuk mengetahui lokasi-lokasi terjadinya pengendapan sedimen (Wulandari, 2014; Wulandari, 2015).

Masalah sedimentasi juga terjadi di Waduk Kedungombo, meskipun dalam jumlah yang masih di bawah laju sedimentasi rencana. Namun terdapat dinamika sedimentasi pada setiap periode pengukuran yang sangat menarik untuk diteliti lebih dalam. Dinamika sedimentasi yang dimaksud meliputi laju sedimentasi, perubahan kapasitas tampungan, distribusi sedimen di waduk, dan pola sedimentasi. Dinamika sedimentasi merupakan hal yang penting dalam pengelolaan waduk untuk memprediksi gangguan layanan yang mungkin terjadi, jangka waktu terjadinya serta strategi penanganan yang sesuai (Morris & Fan, 1997). Menurut Garg dan Jothiprakash (2013) tantangan terbesar dalam pengoperasian waduk adalah mempelajari laju sedimentasi, volume dan pola pengendapan sedimen. Laju sedimentasi yang terjadi akan mempengaruhi perubahan kapasitas tampungan waduk dan pada akhirnya akan mempengaruhi umur teknis layanan

waduk. Sedimen mengendap di seluruh permukaan dasar waduk, dengan mengetahui distribusi sedimen dan pola sedimentasi waduk dapat diketahui volume sedimen yang mengendap di masing-masing fungsi tampungan waduk sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan tindakan penanganan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika sedimentasi yang terjadi di Waduk Kedungombo selama beroperasi 28 tahun.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Studi Terdahulu

Berkaitan dengan Pemanfaatan Waduk Kedungombo, terdapat beberapa studi terdahulu yang telah dilakukan. Studi yang telah dilakukan umumnya terkait dengan potensi erosi di DTA waduk dan pengukuran kapasitas tampungan Waduk Kedungombo. Kompilasi hasil studi tersebut dapat di lihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Potensi erosi dan pengukuran kapasitas tampungan waduk

| Tahun   | Pelaksana                   | Pengukuran kapasitas | Potensi Erosi |
|---------|-----------------------------|----------------------|---------------|
| 1979-84 | DPMA Puslitbang Pengairan   | -                    | -             |
| 1984    | SMEC (Desain)               | -                    | -             |
| 1986    | DPMA Puslitbang Pengairan   | -                    | -             |
| 1989    | Perencanaan oleh SMEC       | -                    | -             |
| 1994    | PT Tera Buana Manggala Jaya | -                    | -             |
| 2003    | Pengukuran oleh PSIT UGM    | -                    | -             |
| 2010    | BP Kehutanan Solo           | -                    | -             |
| 2012    | PT Tera Buana Manggala Jaya | -                    | -             |
| 2017    | PT. Dehas Inframedia Karsa  | -                    | -             |

Sumber : BBWS Pemali Juana, 2017

## 2. Pengukuran Kapasitas Tampungan

Kapasitas Tampungan diperoleh berdasarkan hasil pengukuran yang dituangkan dalam peta *bathymetry* waduk. Hasil pengukuran ini selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk mengukur lebih detail volume dan ketebalan endapan sedimen waduk, laju sedimentasi waduk, umur layanan yang tersisa, hubungan antara elevasi dan volume tampungan waduk, hubungan antara elevasi dan luas genangan waduk. (SDA, 2009)

Penghitungan kapasitas waduk dilakukan dengan menjumlahkan volume tampungan air antara 2 garis elevasi, dimulai dari garis elevasi terendah sampai dengan elevasi muka air maksimum. Perhitungan volume tampungan waduk tiap pias (antara dua elevasi) dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_i = \frac{1}{3} (h_i - h_{i-1}) \cdot (A_{i-1} + A_i + \sqrt{A_{i-1} \cdot A_i}) \quad (1)$$

Keterangan :

$V_i$  = Volume pias ke i

$h_i$  = Elevasi pias ke i

$h_{i-1}$  = Elevasi pias ke i - 1

$A_i$  = Luas genangan pias ke i

$A_{i-1}$  = Luas genangan pias ke i - 1

Kapasitas tampungan waduk keseluruhan dari elevasi terendah sampai dengan tertinggi dihitung dengan persamaan berikut.

$$V = \sum_i^n V_i \quad (2)$$

Keterangan:

$V$  = Volume Tampungan Waduk

$V_i$  = Volume pias ke i

## 3. Laju Sedimentasi Waduk

Sedimentasi waduk dapat ditentukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran terbaru dengan hasil pengukuran periode sebelumnya atau pada saat dibangunnya waduk.

Berdasarkan hasil pengukuran tampungan waduk yang telah dilakukan dari beberapa pengukuran terdahulu dapat dikaji laju pengendapan pada waduk sampai dengan saat ini.

Besarnya laju sedimentasi waduk ( $S_1$ ) yang dihitung berdasarkan besarnya volume endapan sedimen yang dihasilkan dalam kurun waktu pengukuran adalah volume endapan tersebut dibagi kurun waktunya (tahun) sehingga diperoleh besaran dalam meter kubik per tahun dan dihitung dengan rumus: (SDA, 2009)

$$S_r = \frac{V_s}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

Keterangan:

$S_r$  = Laju pengendapan per thn ( $Jt m^3/thn$ )

$V_s$  = Vol. Sedimen rata - rata mengendap ( $Jt m^3$ )

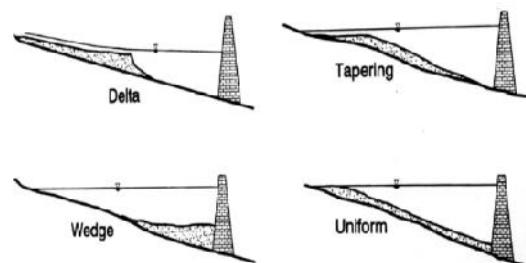
$t$  = waktu

## 4. Distribusi Pengendapan Sedimen

Distribusi pengendapan sedimen yang terjadi di waduk dapat di prediksi dengan menggunakan Metode empiris atau berdasarkan pengukuran bathimetri waduk pada 2 periode pengukuran. Perhitungan distribusi sedimen diperlukan untuk memprediksi/ mengetahui akumulasi sedimen pada tiap-tiap elevasi waduk.

## 5. Pola Sedimentasi Waduk

Menurut Morris dan Fan (2010) terdapat 4 pola pengendapan sedimen di Waduk yaitu *Delta*, *tapering*, *wedge* dan *uniform* (Gambar 1).



**Gambar 1.** Pola Pengendapan Sedimen di Waduk

Sumber : Morris & Fan, 2010

Perhitungan Distribusi Pengendapan sedimen dilakukan pada setiap perode pengukuran (4 Periode). Dari hasil perhitungan ini dan bentuk topografi dasar waduk dapat disimpulkan jenis pola sedimentasi yang terjadi di lokasi kajian.

## 6. Umur Teknis Layanan Waduk

Analisis umur layanan (*useful life*) waduk dapat diketahui dengan melakukan perhitungan waktu yang dibutuhkan oleh sedimen untuk mengisi kapasitas tampungan mati yang tersedia. Dengan diketahuinya besarnya kapasitas tampungan mati dan besarnya kecepatan (laju) sedimen yang mengendap (berdasarkan hasil pengukuran), maka akan diketahui waktu yang dibutuhkan sedimen untuk mengisi/menutup pada daerah tampungan mati. Seiring bertambahnya umur waduk maka akan semakin berkurang kapasitas tampungan matinya, yang akan berdampak menjadi terganggunya pelaksanaan operasional waduk. Hal tersebut dapat dijadikan suatu acuan untuk memprediksi kapan kapasitas tampungan mati waduk itu akan terisi penuh oleh sedimen. Namun perkiraan tersebut adalah dengan asumsi tidak dilakukan penanganan terhadap sumber sedimentasi pada daerah tangkapan. (SDA, 2009)

Umur layanan waduk dapat dihitung dengan rumus:

$$L = \frac{V_a}{S_r} \quad (4)$$

Keterangan:

$L$  = Umur layanan waduk dalam tahun

$S_r$  = Laju pengendapan per thn ( $Jt m^3/thn$ )

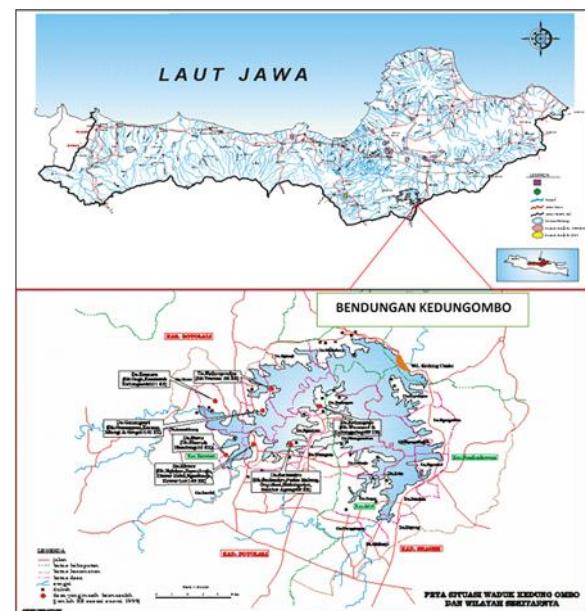
$V_a$  = Vol. *dead stroge* hasil survei( $m^3$ )

## C. METODE PENELITIAN

### 1. Lokasi Penelitian

Bendungan Kedungombo secara administratif terletak di Desa Rambat, Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan,

berbatasan dengan Kabupaten Boyolali dan Kabupaten Sragen (Gambar 2). Secara geografi Bendungan Kedungombo berada pada koordinat  $7^{\circ} 15' 33''$  LS dan  $110^{\circ} 50' 18''$  BT.



Gambar 2. Lokasi Bendungan Kedungombo (BBWS Pemali Juana, 2021)

### Data Umum Bendungan

Pengelola: BBWS Pemali Juana

Manfaat : Pengendalian Banjir

Irigasi 64.365 Ha,

Listrik 22,50 MWH/Tahun,

Air Baku 1.700 Liter/Detik,

Perikanan dan Pariwisata.

### Waduk

TMA Banjir PMF : Elv. 95,00 m

TMA Normal : Elv. 90,00 m

Luas Genangan : 44,14 km<sup>2</sup>

Debit inflow tahunan rata-rata : 780 Jt

### Bendungan:

Tinggi Bendungan : 61 m

Panjang Puncak : 1.600 m

Elevasi Puncak : EL. 96,00 m

Lebar puncak : 12,0 m

### Pelimpah

Utama : Elv. 90,0 m (1.000 m<sup>3</sup>/detik)

Darurat : Elv 90,0 m (4.450 m<sup>3</sup>/detik)

## 2. Teknik Pengumpulan Data

Studi ini menggunakan data – data sekunder yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana.

## 3. Analisis Data

### a. Analisis kapasitas tampungan

Dari data *bathymetry* dilakukan analisa kapasitas tampungan pada setiap elevasi guna mendapatkan kurva H-VA masing-masing periode. Perubahan kapasitas tampungan setiap periode pengukuran digambarkan dalam grafik. Selanjutnya dilakukan analisis perubahan kapasitas tampungan dalam bentuk persentase pada tiap fungsi tampungan waduk. Data *bathymetry* setiap periode pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Kapasitas Waduk Setiap Periode

| Tahun | Luas     | Volume<br>(Jt) |
|-------|----------|----------------|
| 1989  | 4.603,00 | 723,16         |
| 1994  | 4.596,00 | 711,27         |
| 2003  | 4.517,00 | 703,42         |
| 2012  | 4.790,00 | 688,41         |
| 2017  | 4.704,62 | 683,19         |

### b. Analisis laju sedimentasi

Laju sedimentasi dihitung dengan Laju sedimentasi dihitung dengan Persamaan (3), hasilnya kemudian dibandingkan pada setiap periode pengukuran. Dalam setiap periode pengukuran di analisa kembali secara kualitatif dan kuantitatif hal-hal yang menyebabkan fluktuasi laju sedimentasi.

### c. Distribusi sedimentasi,

Analisis distribusi sedimentasi dilakukan berdasarkan data pengukuran bathimetri waduk pada 4 periode pengukuran.

### d. Penentuan Pola sedimentasi

Berdasarkan hasil distribusi sedimentasi dan membandingkan profil dasar waduk dapat disimpulkan pola

sedimentasi waduk berdasarkan Morris & Fan (2010).

### e. Perhitungan umur teknis waduk.

Umur teknis waduk dihitung dengan Persamaan (4).

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Kapasitas Tampungan Waduk

Hasil hitungan luas genangan waduk ( $m^2$ ) dan volume per pias ( $m^3$ ) dapat disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Kapasitas Waduk Hasil Perhitungan Tahun 2017

| No | Elevasi | Luas Genangan ( $m^2$ ) | Volume per Pias ( $m^3$ ) | Volume Kumulatif |
|----|---------|-------------------------|---------------------------|------------------|
| 1  | 45      | -                       | -                         | -                |
| 2  | 50      | 4.400                   | -                         | -                |
| 3  | 55      | 1.411.800               | 3.540.000                 | 3.540.000        |
| 4  | 60      | 3.640.800               | 12.630.000                | 16.170.000       |
| 5  | 65      | 8.210.000               | 29.630.000                | 45.800.000       |
| 6  | 70      | 12.402.100              | 51.530.000                | 97.330.000       |
| 7  | 75      | 17.415.900              | 74.540.000                | 171.870.000      |
| 8  | 80      | 28.844.200              | 115.650.000               | 287.520.000      |
| 9  | 85      | 41.188.900              | 175.090.000               | 462.610.000      |
| 10 | 90      | 47.046.200              | 220.580.000               | 683.190.000      |

Hasil pengukuran *bathymetry* yang dilakukan antara tahun 1989 sampai dengan tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 3. Perubahan volume tampungan Waduk Kedungombo yang semakin menurun. hal ini mengindikasikan terjadinya sedimentasi. Kapasitas tampungan total semula pada tahun 1989 sebesar 723,16 jt  $m^3$  menjadi sebesar 683,19 jt  $m^3$  pada tahun 2017. Dalam jangka waktu masa operasi 28 tahun. Waduk Kedungombo telah kehilangan kapasitas tampungan sebanyak 39,97 jt  $m^3$ .

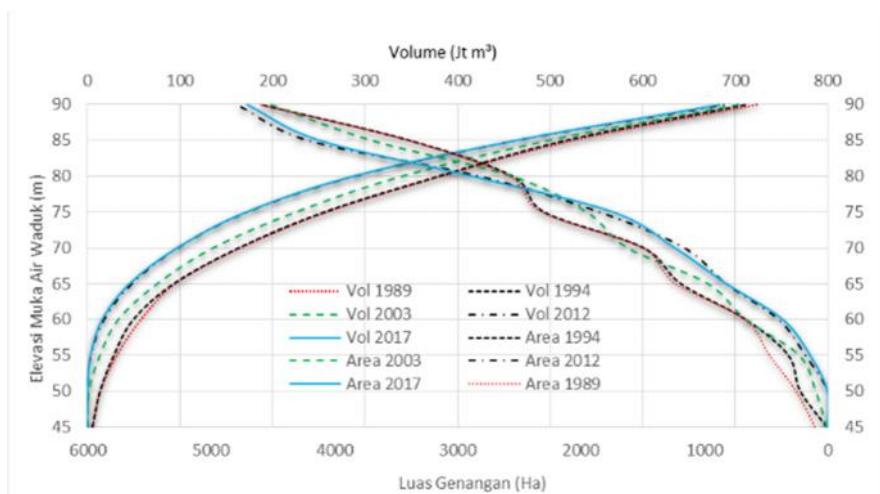
Perubahan sisa tampungan total, tampungan efektif dan tampungan mati sejak tahun 1989 sampai dengan 2017 dan presentasenya dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 4. Dibandingkan dengan kapasitas tampungan pada saat

awal masa operasi (tahun 1989) maka sisa tampungan total 94,47%. tampungan efektif 93,70% dan tampungan mati 54,79%. Pengurangan kapasitas tampungan yang paling signifikan terjadi

pada tampungan mati. Hal ini secara alami terjadi karena sedimen akan mengendap pada elevasi terendah di dalam waduk.

**Tabel 4.** Kapasitas Tampungan dan luas genangan Waduk Kedungombo (BBWS Pemali Juana 2017)

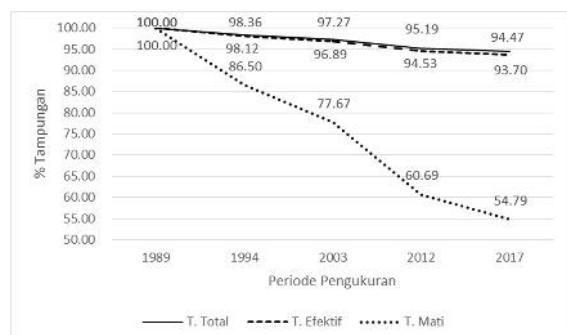
| Elev. | 1989         |                             | 1994         |                             | 2003         |                             | 2012         |                             | 2017         |                             |
|-------|--------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|
|       | Luas<br>(Ha) | Vol<br>(jt m <sup>3</sup> ) |
| 45    | 105          | 5,88                        | 14           | 5,87                        | 7            | 0,1                         | 0            | 0                           | -            | -                           |
| 50    | 258          | 14,4                        | 227          | 14,06                       | 94           | 2                           | 6            | 0,1                         | 0,44         | -                           |
| 55    | 474          | 32,13                       | 323          | 28,95                       | 229          | 13,95                       | 186          | 3,84                        | 141,18       | 3,54                        |
| 60    | 674          | 58,49                       | 670          | 49,99                       | 663          | 34,06                       | 402          | 18,2                        | 364,08       | 16,17                       |
| 65    | 1.236,00     | 95,35                       | 1.196,00     | 93,75                       | 970          | 76,12                       | 829          | 48,32                       | 821,00       | 45,80                       |
| 70    | 1.505,00     | 166,23                      | 1.498,00     | 163,93                      | 1.623,00     | 136,59                      | 1.166,00     | 97,95                       | 1.240,21     | 97,33                       |
| 75    | 2.324,00     | 259,11                      | 2.303,00     | 256,27                      | 1.954,00     | 225,67                      | 1.853,00     | 172,75                      | 1.741,59     | 171,87                      |
| 80    | 2.586,00     | 383                         | 2.559,00     | 379,43                      | 2.559,00     | 340,3                       | 2.824,00     | 288,83                      | 2.884,42     | 287,52                      |
| 85    | 3.401,00     | 524,11                      | 3.391,00     | 516,51                      | 3.696,00     | 498,45                      | 4.211,00     | 463,56                      | 4.118,89     | 462,61                      |
| 90    | 4.603,00     | 723,16                      | 4.596,00     | 711,27                      | 4.517,00     | 703,42                      | 4.790,00     | 688,41                      | 4.704,62     | 683,19                      |



**Gambar 3.** Kurva H – V – A Waduk Kedungombo Tahun 1989 sampai dengan 2017

**Tabel 5.** Sisa Tampungan Total. Efektif dan Mati tahun 1989 sampai dengan 2017

| Uraian                                 | 1989   | 1994   | 2003   | 2012   | 2017   |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tampungan Total (jt m <sup>3</sup> )   | 723,16 | 711,27 | 703,42 | 688,41 | 683,19 |
| Tampungan Efektif (jt m <sup>3</sup> ) | 634,76 | 634,80 | 634,76 | 634,76 | 634,76 |
| Tampungan Mati (jt m <sup>3</sup> )    | 88,40  | 76,47  | 68,66  | 53,65  | 48,43  |
| Sisa tampungan total (%)               | 100,00 | 98,36  | 97,27  | 95,19  | 94,47  |
| Sisa tampungan efektif (%)             | 100,00 | 98,12  | 96,89  | 94,53  | 93,70  |
| Sisa tampungan mati (%)                | 100,00 | 86,50  | 77,67  | 60,69  | 54,79  |



**Gambar 4.** Presentase sisa Tampungan

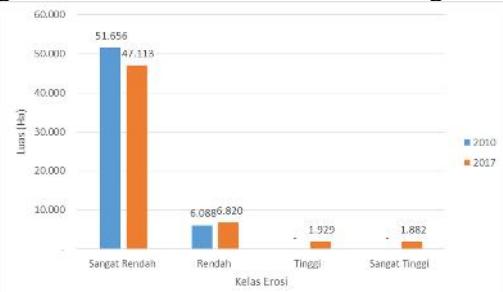
## 2. Laju Sedimentasi Waduk

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa laju sedimentasi yang terjadi periode 1989 - 2017 besarnya berfluktuasi. Laju sedimentasi yang terjadi lebih kecil dari laju sedimentasi rencana. Pada periode 1994 – 2003 terjadi penurunan laju sedimentasi yang cukup besar dari 2,39 juta  $m^3$ /tahun menjadi 0,87 juta  $m^3$ /tahun. Tahun 2003 PSIT UGM melakukan pemutakhiran data kapasitas Waduk Kedungombo yang dilakukan melalui pengukuran bathimetri pada kondisi elevasi genangan +68,10 m dan pengukuran Terestris pada sekeliling genangan waduk dari +68,10 m sampai dengan elevasi +90 m. Berdasarkan hasil pengukuran *echosounding* dan *terestris* diperoleh volume total waduk sebesar 703.420.000  $m^3$ . Berdasarkan hasil analisis volume waduk tersebut. maka laju sedimentasi Waduk dalam kurun waktu 9 tahun (1994 – 2003) sebesar 858.000  $m^3$ /tahun. Pada kajian tersebut. PSIT UGM juga melakukan analisis erosi lahan pada daerah tangkapan waduk Kedungombo dengan menggunakan persamaan USLE. Hasil analisis menunjukkan potensi erosi rata-rata sebesar 71,46 ton/ha/tahun atau 2,45 juta  $m^3$ /tahun. Dengan asumsi berat volume tanah 1,8 ton/  $m^3$  maka potensi erosi sebesar 3,97 mm/tahun. Menurut studi tersebut potensi erosi DAS Waduk Kedungombo termasuk dalam kategori tingkat bahaya erosi sedang. Dengan membandingkan hasil perhitungan sedimen pengukuran dengan *echosounding* dan *Terestris*. disimpulkan bahwa tidak semua hasil erosi menjadi

endapan dalam waduk. Presentase sedimen yang masuk ke waduk (*sediment delivery ratio / SDR*) sebesar 35%.

Periode 2003 – 2012 laju sedimentasi mengalami kenaikan disebabkan adanya perubahan tata guna lahan. Eksistensi Waduk yang telah beroperasi selama 13 Tahun (1989-2002) secara otomatis menjadi destinasi pariwisata baru yang secara tidak langsung meningkatkan perubahan tata guna lahan. Dapat dilihat pada (Tabel 6) berdasarkan penelitian melalui Citra LANDSAT 5 (1998) dan LANDSAT TM 7 (2002) diketahui bahwa terjadi peningkatan kawasan tegalan sebesar 12,18% dan permukiman 25,01% (Hari dan Suripin. 2013).

Pada periode 2012 – 2017 laju sedimentasi kembali mengalami penurunan tapi masih lebih tinggi daripada laju sedimentasi pada periode 1994 – 2003. Berdasarkan penelitian kelas erosi yang dilakukan oleh peneliti Balai Penelitian Kehutanan Solo pada tahun 2010 dan 2017 diketahui bahwa telah terjadi perubahan terhadap kelas erosi di DTA Waduk Kedungombo. Laju erosi di DTA Kedungombo semula hanya terdiri dari 2 kelas erosi. namun pada tahun 2017 telah berubah menjadi 4 kelas erosi (**Error! Reference source not found.**). Setiap kelas erosi memiliki nilai erosi yang menyumbang besarnya sedimentasi yang masuk ke dalam waduk. Perubahan kelas erosi ini memberikan dampak pada jumlah sedimen yang masuk ke waduk. Hal ini mengindikasikan adanya perubahan tata guna lahan di DTA Waduk Kedungombo.



**Gambar 5.** Perbandingan Kelas Erosi di DTW Kedungombo Tahun 2010 dan Tahun 2017

(Miardini dan Harjadi. 2011; Harjadi. 2017)

Berdasarkan analisa tutupan lahan terbaru yang diperoleh dengan membandingkan peta tutupan lahan yang bersumber dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Kemen LHK) kondisi tutupan lahan tahun 2009 dan 2019 diketahui bahwa telah terjadi perubahan tutupan lahan kembali namun dalam jumlah yang tidak terlalu signifikan (Tabel 8). Hal ini disebabkan Hulu DTA Kedungombo yang merupakan kawasan Hutan Merbabu

merupakan kawasan yang dilindungi dan terjaga.

**Tabel 6.** Laju Sedimentasi Waduk Kedungombo Antara Tahun 1989 – 2017

| Periode                                   | 1989   | 1994   | 2003   | 2012   | 2017   |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| Volume Waduk (m <sup>3</sup> )            | 723,16 | 711,23 | 703,42 | 688,41 | 683,19 |
| Laju sedimentasi (jt m <sup>3</sup> /thn) | 2,88   | 2,39   | 0,87   | 1,62   | 1,04   |
| Besar sedimentasi (juta m <sup>3</sup> )  | -      | 11,93  | 7,81   | 14,59  | 5,22   |
| Total Sedimen (juta m <sup>3</sup> )      | -      | 11,93  | 19,74  | 34,75  | 39,97  |

**Tabel 7.** Pemanfaatan lahan di DTA Kedungombo tahun 1998 & 2002 (Hari dan Suripin. 2013)

| No     | Penggunaan Lahan | Tahun 1998 |       | Tahun 2002 |       | Perubahan |        |
|--------|------------------|------------|-------|------------|-------|-----------|--------|
|        |                  | Luas (ha)  | %     | Luas (ha)  | %     | Luas (Ha) | %      |
| 1      | Hutan Lindung    | 1.483,67   | 1,61  | 1.469,55   | 1,59  | -14,12    | -0,95  |
| 2      | Hutan Produksi   | 18.364,03  | 19,91 | 17.703,14  | 19,19 | -660,89   | -3,60  |
| 3      | Perkebunan       | 7.581,74   | 8,22  | 6.768,27   | 7,34  | -813,47   | -10,73 |
| 4      | Komplek PLTA     | 64,71      | 0,07  | 64,71      | 0,07  | -         | -      |
| 5      | Permukiman       | 11.874,96  | 12,87 | 14.845,25  | 16,09 | 2.970,29  | 25,01  |
| 6      | Sawah            | 32.927,93  | 35,69 | 29.417,38  | 31,89 | -3.510,55 | -10,66 |
| 7      | Tegalan          | 16.936,31  | 18,36 | 18.999,15  | 20,60 | 2.062,84  | 12,18  |
| 8      | Tubuh Air        | 3.015,81   | 3,27  | 2.981,71   | 3,23  | -34,10    | -1,13  |
| Jumlah |                  | 92.249,16  | 100   | 92.249,16  | 100   |           |        |

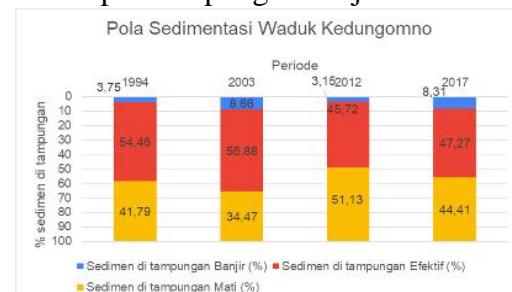
**Tabel 8 .** Pemanfaatan lahan di DTA Kedungombo tahun 2009 & 2019 (Kemen LHK)

| No     | Penggunaan Lahan         | Tahun 1988 |       | Tahun 2002 |       | Perubahan |        |
|--------|--------------------------|------------|-------|------------|-------|-----------|--------|
|        |                          | Luas (ha)  | %     | Luas (ha)  | %     | Luas (Ha) | %      |
| 1      | Belukar                  | 2.598,71   | 4,50  | 747,18     | 1,29  | -1.851,53 | -71,25 |
| 2      | Hutan                    | 4.497,06   | 25,11 | 2.444,27   | 21,55 | -2.052,78 | -14,16 |
| 3      | Pemukiman                | 1.247,03   | 19,48 | 1.825,03   | 20,48 | 577,99    | 5,14   |
| 4      | Perkebunan dan Pertanian | 2.299,65   | 3,98  | 0.259,44   | 17,77 | 7.959,80  | 346,13 |
| 5      | Sawah                    | 5.030,92   | 43,35 | 9.721,61   | 34,15 | -5.309,31 | -21,21 |
| 6      | Tanah Terbuka            | 171,58     | 0,30  | 177,86     | 0,31  | 6,28      | 3,66   |
| 7      | Lain-Lain                | 1.899,05   | 3,29  | 2.568,61   | 4,45  | 669,56    | 35,26  |
| Jumlah |                          | 57.744,00  | 100   | 57.744,00  | 100   |           |        |

### 3. Distribusi Pengendapan Sedimen

Hasil analisa distribusi pengendapan sedimen Waduk Kedungombo selama 4 periode dapat dilihat pada Tabel 9 dan presentase sedimen pada masing-masing tampungan dapat dilihat pada **Gambar 6**. Berdasarkan analisa tersebut. diketahui bahwa sedimen juga menempati tampungan banjir dan tampungan efektif. Pada periode 2012-2017 terdapat 5,22 jt m<sup>3</sup> sedimen yang mengendap. 44,41 %

menempati tampungan mati. 47,27 % menempati tampungan efektif dan 8,31% menempati tampungan banjir.



**Gambar 6.** Pengendapan Sedimen Waduk Kedungombo

**Tabel 9.** Pengendapan Sedimen Waduk Kedungombo Antara Tahun 1989 Sampai dengan 2017

| Tampungan  | Periode    |           |           |           |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|
|  | 1989- 1994 | 1994-2003 | 2003-2012 | 2012-2017 |
| Sedimentasi Hasil Pengukuran (Jt m <sup>3</sup> )  | 11,93      | 19,74     | 34,75     | 39,97     |
| Besar sedimentasi per periode (Jt m <sup>3</sup> ) | 11,93      | 7,81      | 14,59     | 5,22      |
| Sedimen di tampungan Banjir (Jt m <sup>3</sup> )   | 0,44       | 0,65      | 0,45      | 0,48      |
| Sedimen di tampungan Efektif (Jt m <sup>3</sup> )  | 6,40       | 4,30      | 6,59      | 2,24      |
| Sedimen di tampungan Mati (Jt m <sup>3</sup> )     | 4,92       | 2,61      | 7,37      | 2,46      |
| Sedimen di tampungan Banjir (%)                    | 3,75       | 8,66      | 3,15      | 8,31      |
| Sedimen di tampungan Efektif (%)                   | 54,46      | 56,88     | 45,72     | 47,27     |
| Sedimen di tampungan Mati (%)                      | 41,79      | 34,47     | 51,13     | 44,41     |

#### 4. Pola Sedimentasi Waduk

Berdasarkan Tabel 9 dapat dilihat bahwa pola pengendapan sedimen yang terjadi periode 1989 – 2017 menempati tampungan mati, efektif dan banjir. Jika dirata-ratakan seluruh periode pengukuran pola sedimentasi menempati tampungan efektif sebanyak 54,32% dan tampungan mati sebanyak 42%.

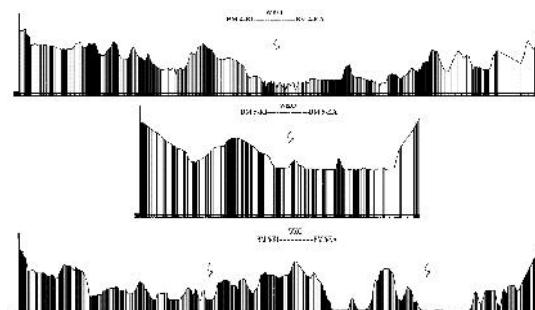
Pembentukan pola ini dipengaruhi oleh topografi tampungan waduk. Tampungan Waduk Kedungombo merupakan kawasan yang relatif bergelombang dengan kemiringan landai. elevasi dasar bendungan hingga puncak bendungan berada antara +60 m hingga +96 m (Mukti. 2019).



**Gambar 7.** Citra Satelit Waduk Kedungombo

Sumber : (Google Earth. 2021)

Bentuk Waduk Kedungombo yang relatif memanjang (Gambar 7) dan elevasi yang tidak terlalu curam menyebabkan pengendapan sedimen secara alami menempati tampungan efektif dan tampungan mati. Profil dasar permukaan waduk pada bagian hilir area genangan dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Cross Section Waduk Kedungombo Kiri dan Kanan Antar BM 4. BM 5 dan BM 6

Sumber : BBWS Pemali Juana. 2015

Berdasarkan presentase distribusi sedimen yang terjadi selama 4 periode pengukuran. diketahui pola pengendapan sedimen di Waduk kedungombo umumnya tersebar hampir merata dalam tampungan mati dan tampungan efektif. Menurut Morris dan Fan (2010) terdapat 4 pola pengendapan sedimen di Waduk yaitu

*Delta. tapering. wedge* dan *uniform* (Gambar 1). Berdasarkan pola sedimentasi yang terjadi selama 4 periode pengukuran dan kesesuaian dengan topografi waduk dapat disimpulkan bahwa pola sedimentasi Waduk Kedungombo adalah tipe *uniform deposit*. Dimana pola ini sering terjadi pada waduk sempit dan frekuensi genangan relatif stabil dan butiran sedimen yang halus sehingga menghasilkan kedalaman pengendapan yang hampir seragam. (Morris dan Fan. 2010).

## 5. Umur Teknis Layanan Waduk

Berdasarkan *Jeratunseluna River Basin Development Project* (1989) disebutkan bahwa laju sedimentasi yang direncanakan untuk Waduk Kedungombo adalah 2,88 Juta  $m^3$  pertahun sedangkan

kapaistas tampungan mati yang tersedia sebesar 88,40 Juta  $m^3$ . Membandingkan laju sedimentasi dengan kapasitas tampungan mati. maka dapat disimpulkan bahwa umur teknis rencana Waduk Kedungombo adalah 31 tahun sejak tahun 1989 (sampai tahun 2020) dengan asumsi jika tidak dilakukan penanganan sedimentasi selama masa operasi. Akan tetapi berdasarkan laporan inspeksi besar tahun 2012 disebutkan bahwa umur waduk bisa mencapai 49 tahun sejak tahun 2012 (sampai tahun 2061). Hal ini dapat dicapai karena laju sedimentasinya lebih kecil dari laju sedimentasi rencana. Berdasarkan analisis didapat umur teknis Waduk Kedungombo 47 tahun sejak tahun 2017 ( Tabel 10 )

**Tabel 10.** Prediksi Umur Layanan Teknis Waduk berdasarkan Pengukuran Kapasitas Waduk

| Thn  | Vol<br>(jt<br>$m^3$ ) | Sedimen<br>(jt $m^3$ ) | Laju<br>Sedimentasi<br>(jt<br>$m^3$ /Thn) | Volume<br>Tampungan<br>Mati (jt $m^3$ ) | Prediksi Usia Teknis<br>(Thn)    |
|------|-----------------------|------------------------|---|---|----------------------------------|
| 1989 | 723,16                | -                      | 2,88                                      | 88,40                                   | 31 Thn Sejak 1989 (sd Thn 2020)  |
| 1994 | 711,23                | 11,93                  | 2,40                                      | 86,20                                   | 36 Thn Sejak 1994 (sd Thn 2030)  |
| 2003 | 703,42                | 7,81                   | 0,89                                      | 69,35                                   | 100 Thn Sejak 2004 (sd Thn 2094) |
| 2012 | 688,41                | 15,01                  | 1,48                                      | 53,89                                   | 49 Thn sejak 2012 (sd Thn 2061)  |
| 2017 | 683,19                | 5,22                   | 1,04                                      | 49,45                                   | 47 Thn Sejak 2017 (sd Thn 2064)  |

## E. KESIMPULAN & SARAN

### 1. Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran terakhir (tahun 2017). Kapasitas Waduk Kedungombo pada elevasi tertinggi 90 m adalah sebesar 683,19 jt  $m^3$  dengan luas genangan 4.704,62 Ha. Berdasarkan pengukuran ini diketahui bahwa kapasitas tampungan Waduk telah berkurang sebanyak 39.97 jt  $m^3$ . Jika dibandingkan dengan kapasitas awal operasi (1989). Sisa tampungan total adalah 94,47%. tampungan efektif 93,70% dan tampungan mati 54,79%;

Laju sedimentasi yang terjadi di Waduk Kedungombo pada setiap periode pengukuran bersifat fluktuatif. hal ini disebabkan adanya perubahan tataguna lahan

yang menyebabkan perubahan laju erosi. Laju sedimentasi terendah terjadi pada periode 1994-2003 (9 tahun) yaitu sebesar 0,87 Juta dan yang tertinggi pada periode 1989-1994 (5 Tahun) yaitu sebesar 2,39 juta  $m^3$ /tahun. Namun jika dibandingkan antara periode operasi 1989-2017 (28 tahun) dan total jumlah sedimen yang mengendap. laju sedimentasi tahunan adalah sebesar 1,42 juta  $m^3$ /tahun sehingga dapat disimpulkan bahwa laju sedimentasi saat ini masih lebih kecil dari rencana sebesar 2,88 Jt  $m^3$ /thn.

Berdasarkan analisa distribusi sedimentasi pada 4 kali periode pengukuran sedimen (1994. 2003. 2012 dan 2017) didapatkan rata-rata sedimen mengendap di

tampungan mati adalah 42,95%. tampungan efektif 51,08% dan Tampungan banjir adalah 5,97%. Hal ini disebabkan bentuk topografi waduk yang relatif bergelombang dan landai. Sehingga disimpulkan bahwa pola pengendapan sedimen di Waduk Kedungombo adalah pola *uniform*.

Prediksi Usia Teknis sejak tahun 2017 adalah 47 tahun atau sampai dengan tahun 2064.

## 2. Saran

Saat ini kondisi sedimentasi relatif normal. untuk mempertahankan kondisi ini diperlukan koordinasi antar Pemerintah Kabupaten untuk bersama-sama menjaga DTA. agar selalu terpelihara.

## DAFTAR PUSTAKA

- Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana. (2010). Data dan dokumentasi Pembangunan Bendungan Kedungombo. Semarang.
- Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana. (2017). Laporan Akhir pekerjaan RTD Bendungan Kedungombo.
- Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana. (2012). Laporan Akhir Inspeksi Besar Waduk Kedungombo.
- Bagian Proyek BINTEK dan Monitoring Keamanan dan Pembangunan Bendungan (1997). Laporan Teknis Hidrologi Bendungan Kedungombo.
- Garg. V. and V. Jothiprakash. 2013 *Evaluation of reservoir sedimentation using data driven techniques*. Applied Soft Computing 13. 3567–3581.
- Handoyo. Suryo. "Tataguna Lahan Waduk Kedungombo (Studi Tentang Masalah Sosial Ekonomi Dan Budaya)." Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur 11.15 (2012).
- Harjadi. Benny. (2017). Analisis Perhitungan Toleransi Erosi Di Daerah Tangkapan Waduk Kedung Ombo. Boyolali. Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Solo.
- Jeratunseluna River Basin Developement Project (JRBD) (1989). Kedungombo Dam Project Construction Supervision Completing Report.*
- Miardini Arina dan Harjadi Beny. (2011). Aplikasi penginderaan jauh dan SIG dalam penilaian potensi erosi permukaan secara kualitatif di daerah tangkapan waduk Kedung Ombo). lppmums
- Ministry of Public Work. (1988). Kedungombo Dam project. operation and Maintenance Ministry of Public Work. (1984). Review Of Dam Design And Preliminary Design Of Irrigations Works-Kedungombo Dam. Semarang: SMEC-PT Indah Karya.
- Morris. G.L. & Fan J. (1997). Reservoir Sedimentation Handbook. Design and Management of Dams. Reservoirs. and Watersheds for Sustainable Use. McGraw – Hill. Co. New York.
- Mukti. H. A. (2019) "Erosion analysis in efforts to sustain the age of use of the kedungombo reservoir." International Journal of Scientific and Technology Research 8.10 (2019): 1931-1940.
- Nugroho Hari dan Suripin (2013) Penatagunaan Kawasan Sekitar Waduk dalam Upaya Menjaga Kelestariannya (Model DAM). Jurnal MKTS.
- Pusat Studi Ilmu Teknik UGM. (2003). Laporan Penunjang Hidrologi Studi Optimalisasi Pola Eksplorasi dan Pemutakhiran Data Kapasitas Waduk Kedungombo dengan Pengukuran Echo sounding. Yogyakarta
- Fauzi. R. R. (2018). Sumbangan Hasil Erosi Lahan Terhadap Sedimentasi Pada Waduk (Studi Kasus Waduk Kedungombo).
- SDA.(2019). Pedoman Survey dan Monitoring Sedimentasi Waduk.
- Soewarno. & Syariman. P. (2008). "Sedimentation Control: Part II. Intensive Measures the Inside of the

- Mrice Reservoir. Central Java".  
Journal of Applied Sciences in  
Environmental Sanitation. 3(1). 17–  
24.
- Wulandari. D.A.. Darsono. S. & Legono. D.  
(2014). Wonogiri Reservoir  
Sedimentation as Influenced by  
Change of Catchment Characteristics.  
International Symposium On Dams In  
A Global Environmental Challenges
- Wulandari. D.A.. Legono. D. & Darsono. S.  
(2015). Evaluation of Deposition  
Pattern of Wonogiri Reservoir  
Sedimentation. IJCEE-IJENS. 15(2).  
15-17.



© 2021 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licens (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)