

## **Analisa Rezim Sedimentasi Waduk, Studi Kasus: Waduk Kedungombo dan Waduk Sermo**

**\*Indri Rahmandhani<sup>1</sup>, Djoko Legono, Heriantono Waluyadi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya, Malang

<sup>\*)</sup>[indrifitriana99@gmail.com](mailto:indrifitriana99@gmail.com)

Received: ..... Revised: ..... Accepted: .....

### **Abstract**

*Reservoirs have problems in fulfilling basic services and the main cause is sedimentation. Sedimentation that occurs in a reservoir including the Kedungombo and the Sermo Reservoirs would form a specific reservoir sedimentation pattern. The sedimentation patterns of the Kedungombo and the Sermo Reservoir is supposed to be similar because the hydrology and physiography conditions of the reservoir's catchment area are similar. This study aims to determine the dynamics of sedimentation patterns that occur in the dead storage, which will then be used to review the characteristics/sedimentation regime of the two reservoirs. The analysis was carried out by processing bathymetrical data from the echo sounding measurement which were processed into a digital terrain model (DTM) using ArcGIS. Furthermore, the storage volume, sedimentation volume, storage percentage, and specific reservoir sedimentation rate are calculated. The results showed that the two reservoirs showed an increase in sedimentation volume each year so that the reservoir characteristic curve shifted from the plan graph. The dead storage capacity of Kedungombo Reservoir is 100% in 1989 to 43% in 2016 and 100% of Sermo Reservoir in 1997 to 58% in 2011. The specific reservoir sedimentation rate, i.e. 0.0031 and 0.0042 million m<sup>3</sup>/year/km<sup>2</sup> for the Kedungombo Reservoir (between 1989 and 2016) and the Sermo Reservoir (between 1997 and 2011) respectively, indicating that the two reservoirs are in the same regime.*

**Keywords:** Reservoir, Regime, Sedimentation, Dead Storage

### **Abstrak**

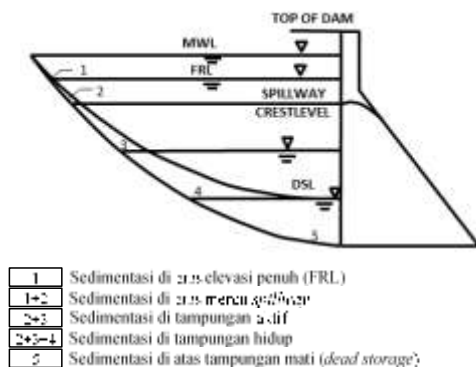
*Waduk memiliki permasalahan dalam memenuhi pelayanan dasar dan penyebab utamanya adalah sedimentasi. Sedimentasi yang terjadi di suatu waduk termasuk Waduk Kedungombo dan Waduk Sermo akan membentuk suatu pola sedimentasi waduk tertentu. Pola sedimentasi Waduk Kedungombo dan Waduk Sermo dapat mempunyai kesamaan pola yang di cirikan oleh kondisi hidrologi dan fisiografi daerah tangkapan air waduk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dinamika pola sedimentasi yang terjadi pada tampungan mati (dead storage), yang selanjutnya akan digunakan untuk meninjau karakteristik/rezim sedimentasi kedua waduk tersebut. Analisis dilakukan dengan pengolahan data batimetri hasil pengukuran echosounding yang diolah menjadi digital terrain model (DTM) menggunakan ArcGIS. Selanjutnya dilakukan perhitungan volume tampungan, volume sedimentasi, persentase tampungan dan laju sedimentasi waduk spesifik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua waduk tersebut menunjukkan peningkatan volume sedimentasi tiap tahunnya sehingga kurva karakteristik waduk bergeser dari grafik rencana. Persentase kapasitas dead storage Waduk Kedungombo adalah 100% tahun 1989 menjadi 43% tahun 2016 dan Waduk Sermo 100% tahun 1997 menjadi 58% tahun 2011. Rezim sedimentasi yang didasarkan pada nilai laju sedimentasi waduk spesifik adalah sebesar 0,0031 dan 0,0042 juta m<sup>3</sup>/tahun/km<sup>2</sup>, berturut-turut untuk Waduk Kedungombo (antara 1989 s/d 2016) dan Waduk Sermo (antara 1997 s/d 2011), menunjukkan bahwa kedua waduk tersebut berada pada rezim yang sama.*

**Kata kunci:** Waduk, Rezim, Sedimentasi, Dead Storage

## Pendahuluan

Waduk merupakan tempat buatan untuk akumulasi air permukaan dengan cara membangun suatu bendungan. Waduk memiliki peranan penting sebagai penyedia air irigasi, air baku kebutuhan sehari-hari, perikanan, pembangkit listrik, serta pengendalian banjir (Warsa, dkk., 2019; Rao, dkk., 2016). Mayoritas waduk mengalami permasalahan dalam memenuhi pelayanan dasar tersebut. Penyebab utamanya adalah sedimentasi waduk. Sedimentasi waduk terjadi akibat erosi yang terjadi di hulu bendungan dan hal ini tentunya menjadi ancaman bagi waduk dalam memenuhi fungsi tersebut di atas. Hal yang sama juga dapat terjadi di Waduk Kedungombo dan Waduk Sermo. Secara umum dalam perencanaan waduk, sedimen yang masuk ke waduk hanya akan diendapkan pada tampungan mati (*dead storage*) namun pada kenyataannya sedimen ini akan mengendap di semua areal waduk (Ludiana, dkk., 2015; Mahmud, dkk., 2020). Perilaku pengendapan sedimen yang berbeda-beda pada setiap waduk ini akan membentuk rezim sedimentasi waduk tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dinamika laju sedimentasi yang terjadi pada tampungan mati (*dead storage*) waduk.

Sedimentasi waduk merupakan akumulasi bertahap muatan sedimen yang berasal dari sungai. Sedimentasi ini dimulai ketika aliran air dari sungai masuk ke dalam waduk dan kecepatan aliran akan berkurang akibat adanya pembendungan (Afifah, dkk., 2015). Sedimen akan mengendap ketika kecepatan aliran lebih rendah dari kecepatan endap. Sedimen dasar dan butiran kasar dari muatan layang akan langsung mengendap membentuk delta. Sementara sedimen halus dengan kecepatan pengendapan yang lebih rendah diangkut lebih dalam mendekati bendungan. Pada waduk terdapat zona sedimentasi yang merupakan zona-zona yang ditempati oleh sedimen yang dapat dibagi menjadi zona-zona terpisah. Zona sedimentasi waduk tipikal disajikan pada Gambar 1 (Indian Institute of Science, 2010).

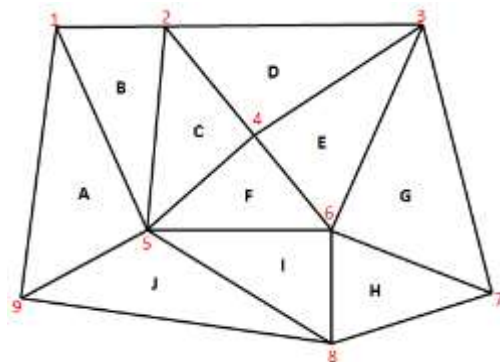


Gambar 1. Zona sedimentasi di waduk

Rezim sedimentasi waduk merupakan kesamaan pola sedimentasi pada berbagai waduk yang biasanya dicirikan oleh kondisi hidrologi dan fisiografi daerah tangkapan air waduk. Rezim sedimentasi waduk didasarkan pada erosi lahan dan sedimentasi waduk, perubahan kurva karakteristik waduk dan perubahan kapasitas tampungan. (Schiefer, 2006) menganalisa mengenai pola sedimentasi secara spasial untuk menunjukkan rezim pengendapan yang dibedakan atas *average regime*, *moderate regime*, *extreme regime* dan *localized regime*.

Untuk mendapatkan informasi mengenai pola distribusi dan perhitungan volume tampungan waduk terdapat beberapa metode. (Pranowo, 2001) melakukan kajian pola distribusi sedimentasi waduk dengan beberapa referensi waduk di Pulau Jawa. Analisa pola penyebaran dilakukan dengan dua metode, yang pertama dengan metode *echosounding*. Yang kedua penambahan dan pengurangan luas empiris (*area increment and empirical area reduction method*). (Permadi, 2016) melakukan perhitungan volume dan sebaran sedimentasi pada Waduk Sermo berdasarkan kondisi awal pembangunan dan keadaan terkini dengan digital terrain model (DTM).

Model permukaan digital merupakan istilah umum yang digunakan untuk menjelaskan suatu proses menyajikan permukaan nyata atau tiruan matematis. Pemodelan permukaan bumi (terrain) merupakan kategori khusus dari pemodelan yang berkaitan dengan problem khusus untuk menyajikan bentuk permukaan bumi. Salah satu model permukaan digital adalah digital terrain model (DTM). DTM yang digunakan merupakan DTM non grid berupa DTM *Triangulated Irregular Network* (TIN). TIN menggunakan titik-titik yang tersebar secara tidak teratur pada permukaan model. Permukaan model TIN adalah jaring bidang segitiga yang terbentuk dari triangulasi titik-titik DTM (lihat Gambar 2).



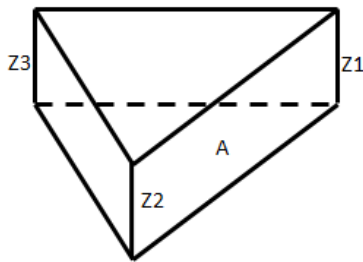
Gambar 2. Data TIN

Perhitungan volume DTM dilakukan dengan Persamaan 1 berikut, dengan skets disajikan pada Gambar 3.

$$V = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3}{3} \times A \quad (1)$$

dengan:

- $V$  : Volume ( $m^3$ )  
 $Z_1, Z_2, Z_3$  : Tinggi (m)  
 $A$  : Luas alas segitiga ( $m^2$ )



Gambar 3. Perhitungan volume DTM

Sedimentasi waduk yang sangat intensif dapat terjadi apabila kegiatan di daerah tangkapan air juga sangat intensif seperti halnya Waduk Wonogiri (Santosa, 2016) dan Waduk Mrica (Utomo, 2017). Besar laju sedimentasi waduk merupakan besaran volume sedimentasi yang dihasilkan dalam kurun waktu pengukuran. Laju sedimentasi dihitung dengan cara volume endapan sedimen dibagi dengan jangka waktu tertentu.

$$S_t = \frac{V_s}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

dengan:

- $S_t$  : Laju sedimentasi waduk ( $m^3/tahun$ )  
 $V_s$  : Volume sedimentasi waduk ( $m^3$ )  
 $t$  : Waktu (tahun)  
 $1$  : Waktu awal waduk beroperasi  
 $2$  : Waktu survei batrimetri terakhir

Besarnya laju sedimentasi waduk dipengaruhi oleh karakteristik daerah tangkapan air, termasuk sistem lahan dan sistem alurnya. Karakteristika daerah tangkapan air dimaksud dapat bersifat alami ataupun campur tangan manusia, merupakan fungsi luasan, erosivitas hujan, erodibilitas tanah, vegetasi ataupun tutupan lahan, serta pengolahan lahan. Karakteristika lahan akan mempengaruhi besarnya erosi lahan serta proses pengangkutannya yang pada akhirnya akan masuk ke waduk (Ferro, 1995). Laju sedimentasi waduk antara waduk satu dengan lainnya dapat mempunyai kesamaan pola yang dapat dirumuskan. Dengan

mempertimbangkan faktor karakteristik tampungan yang diuraikan di atas secara terintegrasi, kesamaan pola sedimentasi waduk tersebut selanjutnya akan diukur dengan nilai laju sedimentasi waduk spesifik. Nilai laju sedimentasi waduk spesifik merupakan indikasi awal tentang tingkat keseriusan sedimentasi waduk, yang disajikan dalam bentuk perbandingan antara laju sedimentasi waduk dengan luas daerah tangkapan air. Nilai laju sedimentasi waduk spesifik dituliskan dalam bersamaan berikut (Persamaan 3).

$$\begin{aligned} & \text{Laju sedimentasi spesifik} (m^3/tahun/km^2) \\ & = \\ & \frac{\text{Laju sedimentasi} (m^3/tahun)}{\text{Luas daerah tangkapan} (km^2)} \end{aligned} \quad (3)$$

Selanjutnya nilai laju sedimentasi waduk spesifik di atas akan digunakan sebagai tolok ukur kesamaan rezim sedimentasi waduk.

## Metodologi

Penetapan nilai laju sedimentasi waduk spesifik memerlukan data batimetri waduk yang diperoleh secara periodik selama perjalanan usia waduk. Namun yang terpenting adalah batimetri pada kondisi waduk sesaat sesudah selesai dibangun. Sedangkan identifikasi rezim sedimentasi waduk memerlukan nilai laju sedimentasi waduk spesifik dua atau lebih waduk yang berlokasi (relatif) berdekatan. Dalam penelitian ini kajian rezim sedimentasi waduk dilakukan pada dua waduk yaitu Waduk Kedungombo dan Waduk Sermo. Data teknis yang berisikan elevasi muka air minimum (*dead storage*) beserta volume pada kondisi waduk selesai dibangun disajikan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Data Teknis Waduk Kedungombo

Nama sungai dan parameter waduk	Keterangan
Nama sungai	Serang, Uter
Luas daerah tangkapan air	614 km <sup>2</sup>
Elevasi dan volume muka air normal	+90m; 723 juta m <sup>3</sup>
Elevasi dan volume muka air minimum ( <i>dead storage</i> )	+64,50m; 88,4 juta m <sup>3</sup>

Sumber: BBWS Pemali Juana, 2012

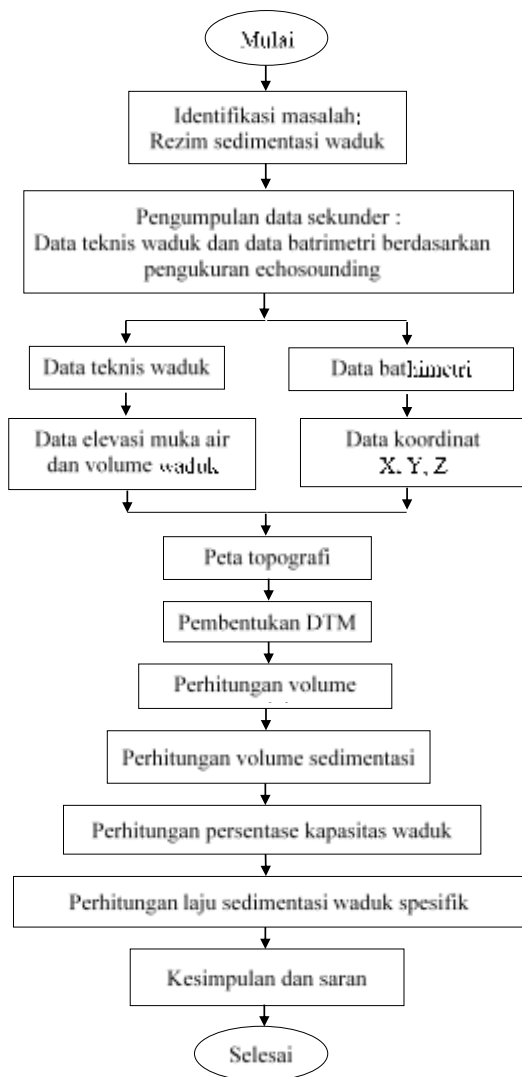
Tabel 2. Data Teknis Waduk Sermo

Nama sungai dan parameter waduk	Keterangan
Nama sungai	Serang, Ngrancah
Luas daerah tangkapan air	22 km <sup>2</sup>
Elevasi dan volume muka air normal	+136,6m; 25 juta m <sup>3</sup>

Elevasi dan volume muka air minimum ( <i>dead storage</i> )	+113,7m; 3,1 juta m <sup>3</sup>
---	----------------------------------

Sumber: Permadi, 2016

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta kontur Waduk Kedungombo hasil pengukuran batimetri pada tahun 2012, tahun 2015, dan tahun 2016. Untuk Waduk Sermo tidak didapatkan data kontur sehingga data yang digunakan adalah data hubungan elevasi dan volume saja yang telah ada yaitu tahun 2001, 2009, dan 2011. Untuk kondisi awal, elevasi dan volume tampungan diketahui berdasarkan digitasi grafik kurva karakteristik awal. Peta kontur diubah menjadi DTM dengan menggunakan ArcGIS. Alur penelitian ini disajikan pada Gambar 4 berikut ini.

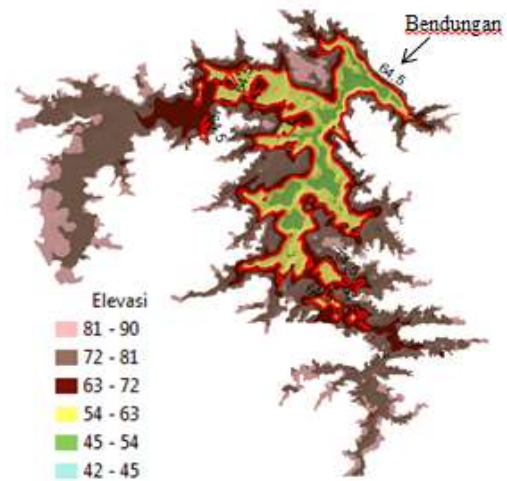


Gambar 4. Alur Penelitian

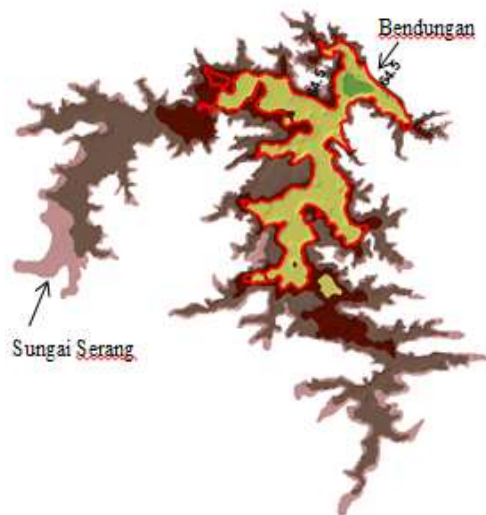
### Hasil dan Pembahasan

Penetapan usia guna waduk umumnya didasarkan pada kapasitas tampungan mati atau *dead storage*

yang mengsumsikan bahwa volume *dead storage* adalah volume air pada elevasi muka air minimum. Selain itu penetapan usia guna waduk juga mengsumsikan bahwa pertumbuhan pengisian sedimen yang masuk ke waduk seperti pengisian air, dengan permukaan selalu mendatar. Kedua asumsi ini sudah barang tentu menghasilkan penetapan usia guna waduk cenderung *underestimate*, mengingat pada kasus lapangan sedimen yang masuk ke waduk umumnya terdistribusi secara random di seluruh dasar waduk dan tidak mungkin mempunyai bentuk permukaan mendatar. Elevasi muka air minimum waduk Kedungombo dan Waduk Sermo berturut-turut adalah berturut-turut +64,5 m dan + 113,7m. Melalui analisa DTM terhadap hasil pengukuran batimetri waduk dapat digambarkan kontur dasar waduk termasuk posisi *dead storage*. Selanjutnya pada Gambar 5, 6, dan 7 disajikan hasil digital terrain model (DTM) Waduk Kedungombo. DTM ini menggambarkan pola sedimentasi yang terjadi di Waduk Kedungombo.

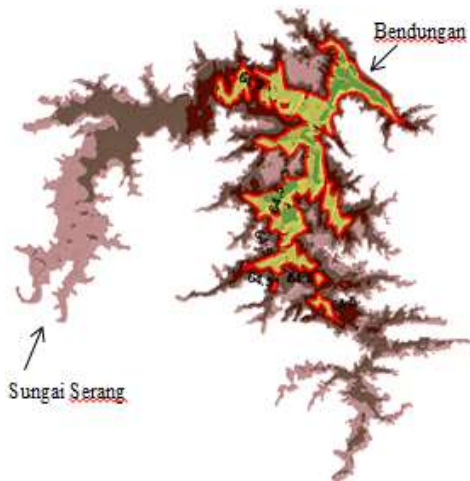


Gambar 5. DTM Waduk Kedumombo 2012



Gambar 6. DTM Waduk Kedumombo 2015

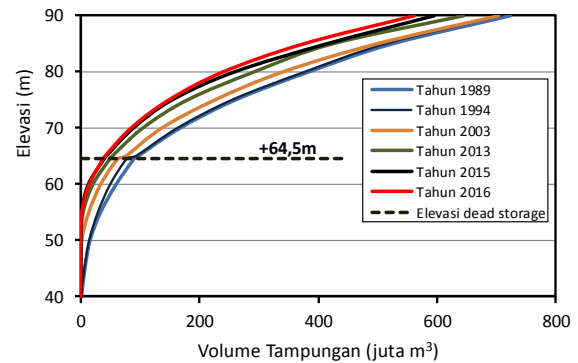




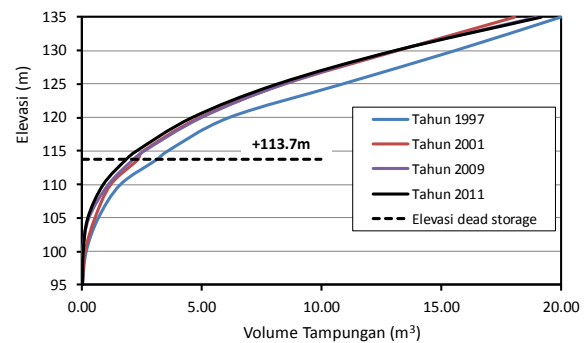
Gambar 7. DTM Waduk Kedumombo 2016

Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7 merupakan pandangan atas (*plan view*) dari elevasi *dead storage* Waduk Kedungombo, berturut-turut untuk tahun 2012, 2015, dan 2016.. Terlihat bahwa sedimentasi memenuhi seluruh areal waduk. Sedimentasi khusus di bagian *dead storage* ditunjukkan dengan pola sedimentasi yang berada di dalam kontur +64,5m (berwarna merah). Sedimentasi dengan elevasi yang tinggi yaitu diatas elevasi +64,5m berada di sisi pinggir waduk, yaitu di sisi pertemuan sungai dan mulut waduk. Elevasi terdalam berada di tengah waduk. Elevasi terendah ini semakin meningkat tiap tahunnya dan hal ini menunjukkan adanya sedimentasi yang terjadi. Berkurangnya luasan warna hijau dan kuning menunjukkan adanya pengurangan volume *dead storage* akibat adanya sedimentasi waduk. Cara lain untuk menunjukkan berkurangnya kapasitas tampungan, baik tampungan penuh ataupun tampungan mati, adalah dengan meninjau perubahan kurva karakteristik tampungan. Kurva karakteristik tampungan untuk masing-masing waduk disajikan pada Gambar 8 untuk Waduk Kedungombo dan Gambar 9 untuk Waduk Sermo. Masing-masing kurva tersebut menunjukkan adanya pergeseran kurva selama perjalanan usia waduk relatif dibanding kurva pada kondisi waduk selesai di bangun. Terlihat pada gambar tersebut perubahan volume terjadi di seluruh zona waduk, baik kondisi tampungan penuh (*full storage*) maupun tampungan mati (*dead storage*). Besar pergeseran kurva setelah beroperasi dari kurva saat waduk selesai dibangun bergantung pada besar kehilangan volume tampungan waduk pada elevasi yang sama akibat besaran volume sedimentasi tertentu. Untuk melengkapi series data, ditampilkan pula hasil pengukuran sebelumnya yang dilakukan oleh SMEC pada tahun 1989, PT. Terabuana Manggala Jaya pada tahun 1994 dan

PSIT UGM tahun 2003 untuk Waduk Kedungombo (BBWS Pemali Juana, 2012).

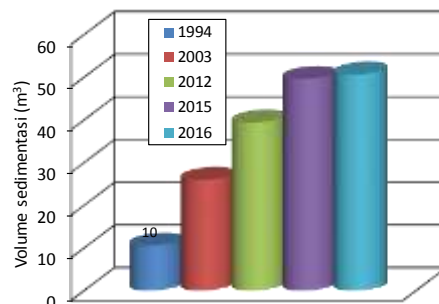


Gambar 8. Kurva karakteristik Waduk Kedungombo

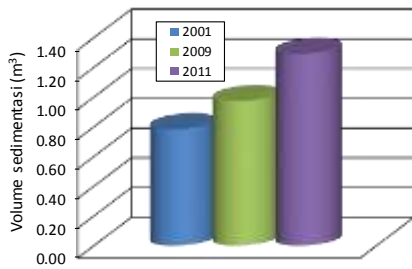


Gambar 9. Kurva karakteristik Waduk Sermo

Besaran volume sedimentasi di *dead storage* yang terjadi di kedua waduk merupakan selisih dari tampungan awal dan tampungan terukur. Di kedua waduk terlihat kecenderungan pertumbuhan volume sedimentasi yang sama dimana volume sedimentasi terus meningkat disetiap tahun pengukuran walaupun besaran peningkatan tersebut berbeda-beda. Volume sedimentasi masing-masing waduk disajikan pada Gambar 10 dan 11, berturut-turut untuk Waduk Kedungombo dan Waduk Sermo.

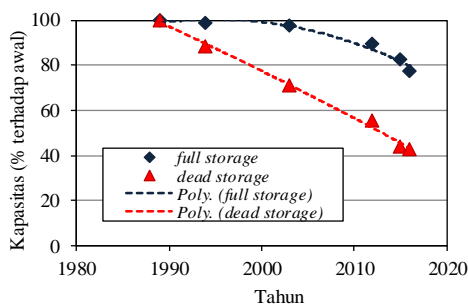


Gambar 10. Volume sedimentasi Waduk Kedungombo

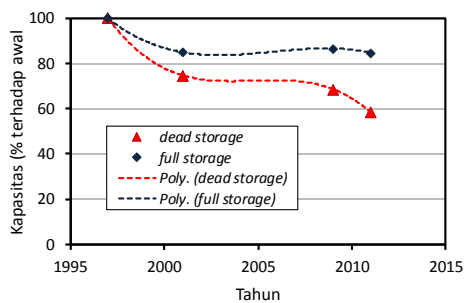


Gambar 11. Volume sedimentasi Waduk Sermo

Sejak waduk selesai dibangun pada tahun 1989 (Waduk Kedungombo) dan 1998 (Waduk Sermo) sampai dengan saat ini telah terjadi penurunan kapasitas waduk secara signifikan, baik kapasitas *full storage* maupun *dead storage* (lihat Gambar 12). Besarnya kehilangan kapasitas *dead storage* tidak lain adalah besarnya volume sedimentasi yang terjadi di *dead storage* waduk. Besarnya kehilangan tampungan akibat sedimentasi ini dapat menurunkan persentase kapasitas *dead storage* dalam menampung sedimen di masa-masa selanjutnya. Persentase kapasitas merupakan perbandingan antara tampungan hasil pengukuran periodik dengan tampungan awal saat sesudah waduk selesai dibangun. Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat kecenderungan atau penurunan persentase kapasitas waduk. Jika pada kondisi awal masing-masing waduk presentase kapasitas *dead storage* sebesar 100%, maka persentase kapasitas *dead storage* menjadi 43% pada tahun 2016 untuk Waduk Kedungombo, sedangkan untuk Waduk Sermo menjadi 58% pada tahun 2011.



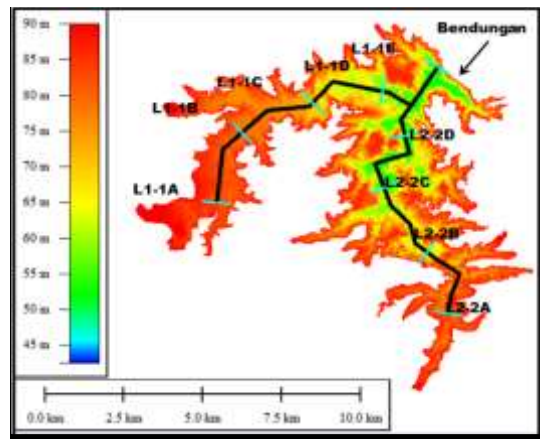
a). Waduk Kedungombo



b). Waduk Sermo

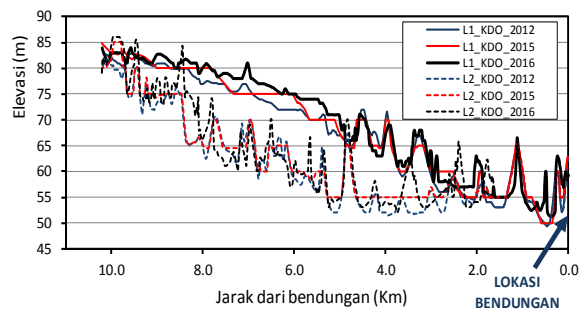
Gambar 12. Penurunan Kapasitas Waduk

Perubahan kontur dasar waduk akibat terjadinya sedimentasi dapat dilihat melalui perubahan elevasi dasar yang terjadi pada profil melintang dan profil memanjang pada sesuatu trase yang ditinjau. Khusus untuk kajian ini tinjauan perubahan kontur dasar atau batimetri hanya dilakukan untuk Waduk Kedungombo, dikarenakan Waduk Sermo tidak memiliki informasi tentang data terkait. Trase yang ditinjau untuk Waduk Kedungombo dipilih pada dua anak sungai yang menuju pada intake bendungan (lihat Gambar 13).



Gambar 13. Trase dan perubahan tampang

Trase 1 adalah trase yang melalui anak Sungai Serang, sedangkan Trase 2 adalah trase yang melalui anak sungai lain. Perubahan elevasi dasar pada Trase 1 dan Trase 2 disajikan pada Gambar 14, di mana kedua trase bertemu pada elevasi dasar waduk +60,00m atau sekitar 2,5 km di sebelah hulu as bendungan. Tinjauan perubahan elevasi dasar dilakukan pada tiga kondisi atau tahun yang berbeda, yaitu 2012, 2015 dan 2016.

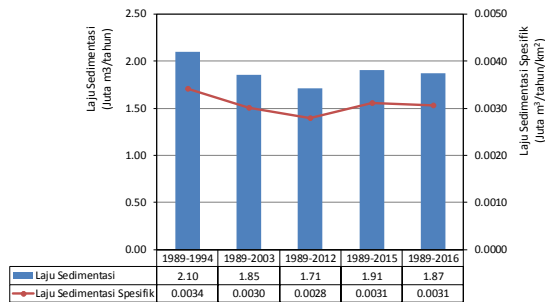


Gambar 14. Perubahan dasar Waduk Kedungombo

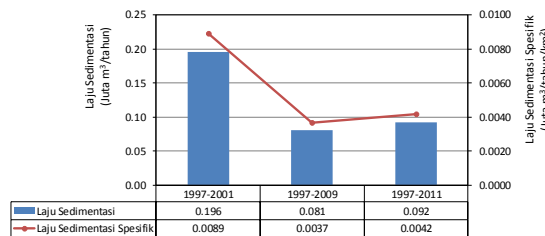
Berdasarkan Gambar 13 dan Gambar 14 terlihat adanya dinamika elevasi dasar waduk pada tiap-tiap waktu pengukuran. Kenaikan dasar Waduk Kedungombo selama periode waktu tinjauan, baik

di Trase 1 ataupun Trase 2, berkisar antara 0,50 m s/d 4,00 m.

Sedimentasi waduk yang terjadi di Waduk Kedungombo dan Waduk Sermo bervariasi antara suatu waktu dengan waktu lainnya (lihat Gambar 15). Laju sedimentasi dari beberapa periode pengamatan menunjukkan nilai sedimentasi yang bervariasi antara suatu tahun dengan tahun lainnya. Nilai laju sedimentasi waduk spesifik untuk kedua waduk tersebut juga ditunjukkan dengan nilai yang berkisar antara 0,0028 s/d 0,0034 juta m<sup>3</sup>/tahun/km<sup>2</sup> untuk Waduk Kedungombo dan antara 0,0037 s/d 0,0089 juta m<sup>3</sup>/tahun/km<sup>2</sup> untuk Waduk Sermo.



a). Waduk Kedungombo



b). Waduk Sermo

**Gambar 15. Laju Sedimentasi dan Laju Sedimentasi Spesifik**

## Kesimpulan

Baik Waduk Kedungombo maupun Waduk Sermo, keduanya menunjukkan adanya peningkatan volume sedimentasi tiap tahunnya sehingga kurva karakteristik waduk bergeser dari kondisi awal saat waduk selesai dibangun. Persentase kapasitas *dead storage* Waduk Kedungombo adalah 100% pada tahun 1989 menjadi 43% pada tahun 2016 dan Waduk Sermo 100% tahun 1997 menjadi 58% pada tahun 2011. Nilai laju sedimentasi waduk spesifik terakhir untuk Waduk Kedungombo adalah 0,0031 juta m<sup>3</sup>/tahun/km<sup>2</sup> untuk jangka waktu 1989 s/d 2016 dan untuk Waduk Sermo adalah 0,0042 Waduk Kedungombo adalah 0,0031 juta m<sup>3</sup>/tahun/km<sup>2</sup> untuk jangka waktu 1997 s/d 2011. Untuk melengkapi pemahaman mengenai rezim sedimentasi waduk ini perlu melakukan

beberapa hal, antara lain melakukan pengukuran sedimentasi dengan berbasis frekuensi sekurangnya 2 tahun sekali. Selain itu mempelajari beberapa waduk yang berlokasi didekatnya, misalnya Waduk Sempor dan Waduk Wadaslintang, merupakan hal yang layak dilakukan dalam rangka merumuskan rezim sedimentasi waduk secara lebih akurat.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana, Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak, dan Perum Jasa Tirta atas dukungan data sebagai sumber penelitian ini.

## Daftar Pustaka

Afifah, R.C. dan Atmodjo, P.S. (2016). Unjuk Kerja Waduk Jatigede, *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*, Volume 21, No. 2, Desember 2015. <https://doi.org/10.14710/mkts.v21i2.11232>

Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana. (2012). Laporan akhir inspeksi besar Waduk Kedungombo: Laporan Penunjang, Survei Topografi dan Sedimentasi Waduk.

Ferro, V. and Minacapilli, M. (1995). Sediment delivery processes at basin scale, *Hydrological Sciences Journal*, 40:6, 703-717, DOI: 10.1080/02626669509491460

Indian Institute of Science (IISc), Indian Institutes of Technology (IITs), N. P. on T. E. L. (Nptel). (2010). Module 4 Hydraulic Structures for Flow Diversion and Storage, Lesson 5 Planning of Water Storage Reservoirs. Water Resources Engineering and Management, 44.

Ludiana, Bunganaen, W. dan Tri, M.W. (2015). Evaluasi Kinerja Jaringan Irigasi Bendungan Tilong, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang. *Jurnal Teknik Sipil Vol. IV, No. 1, April 2015*, Fakultas Teknk Universitas Nusa Cendana.

Mahmud, G., Darsono, S. dan Triadi, T.P. (2020). Analisis Sedimentasi Dan Prediksi Distribusi Sedimen Di Waduk Tilong Kabupaten Kupang. *Rang Teknik Journal*, Vol. 3 No.2 Juni 2020. <http://jurnal.umsb.ac.id/index.php/RANGTEKNIK JOURNAL>

Permadi, O. (2016). Perhitungan Volume dan Sebaran Sedimentasi pada Waduk Sermo Berdasarkan Kondisi Awal Pembangunan dan Keadaan Terkini, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Pranowo., J. (2001). Kajian Pola Distribusi Sedimentasi Waduk Dengan Referensi Beberapa Waduk di Jawa, Tesis, Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro.

Rao, S.V., Sastry, P.G. and Ghorp, V.G. (2016). Reservoir Sedimentation and Concerns of Stakeholders. *Research Journal of Engineering Sciences*, Vol. 3(2), 29-32, February (2014).

Santosa, T.J.I.B. (2016). Analysis of Sedimentation in Wonogiri Reservoir. *Journal of the Civil Engineering Forum*, Vol. 2 No. 1 (January 2016).  
<https://doi.org/10.22146/jcef.24022>

Schiefer, E. (2006). Depositional regimes and areal continuity of sedimentation in a Montane Lake Basin, British Columbia, Canada. 617–628.  
<https://doi.org/10.1007/s10933-005-5265-0>

Utomo, P. (2017). Mrica Reservoir Sedimentation: Current Situation and Future Necessary Management. *Journal of the Civil Engineering Forum*, Vol. 3 No. 2 (May 2017).  
<https://doi.org/10.22146/jcef.26640>

Warsa, A., Haryadi, J. dan Kartamihardja, E.S. (2019). Optimalisasi Pemanfaatan Waduk Tilong, Nusa Tenggara Timur untuk Pengembangan Perikanan Tangkap. *Jurnal Sumber Daya Air*, Vol. 15 No. 2 November 2019. DOI 10.32679/jsda.v15i2.480

Wulandari, D.A., Legono, D., and Darsono, S. (2014). Reservoir Operation to Minimize Sedimentation. *International Journal of Science and Engineering*, 5(2), 61-65. DOI: 10.12777/ijse.6.1.16-23.