

**KAJIAN EROSI DAERAH TANGKAPAN AIR DALAM PENDUGAAN KAPASITAS  
TAMPUNGAN WADUK PADA AKHIR UMUR EFEKTIF  
(STUDI KASUS : WADUK GONDANG, KARANGANYAR)**

**CATCHMENT AREA EROSION STUDY FOR ESTIMATING THE RESERVOIR CAPACITY  
AT THE END OF TECHNICAL LIFETIME  
(CASE STUDY : GONDANG RESERVOIR, KARANGANYAR)**

**Dhanang Samatha Putra<sup>1)</sup>\* Pranoto Samto Atmojo<sup>1)</sup> Dyah Ari Wulandari<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Jl. Prof. H. Soedarto, S.H Tembalang – Semarang, Kode Pos 50275

\*Corresponden Author : [dhanangsamatha@students.undip.ac.id](mailto:dhanangsamatha@students.undip.ac.id)

Diterima: 3 Desember 2019; Direvisi: 5 Desember 2019; Disetujui: 23 Juni 2020

**ABSTRACT**

*Gondang Reservoir is one of The National Strategic Projects. Located in Karanganyar Regency, Central Java Province, Gondang Reservoir has 2.08 Mm<sup>3</sup> flood storage, 5.03 Mm<sup>3</sup> effective storage, 2.03 Mm<sup>3</sup> dead storage and 30 years lifetime. In the dam management, one of the problems that often occurs is sedimentation. To overcome this problem, we need to know the sedimentation rate and distribution pattern of Gondang Reservoir for optimalizing the reservoir management. To predict the distribution pattern of the reservoir we use Empirical Area Reduction Methods. The findings of the study show that the sediment volume of the reservoir throughout its effective life is 2,79 M m<sup>3</sup>, the new zero elevation is +496 m, there is no remaining dead storage and the remaining effective storage is 2.2 M m<sup>3</sup>. This indicates that theoretically the reservoir will work well up to its life expectancy. Dam sedimentation management with structural or non structural must be planned especially at effective storage. Dam sedimentation management at effective storage is very important in order to maintain Gondang Reservoir benefits.*

**Keywords:** *Sediment rate, erosion, sediment distributions, Gondang Reservoir*

**ABSTRAK**

*Waduk Gondang merupakan salah satu Proyek Strategis Nasional. Waduk Gondang berada di Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah. Waduk Gondang memiliki 2,08 juta tampungan banjir, 5,03 juta m<sup>3</sup> tampungan efektif, 2,03 juta m<sup>3</sup> tampungan mati dan umur efektif selama 30 tahun. Dalam pengelolaan waduk salah satu permasalahan yang sering terjadi adalah sedimentasi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu diketahui laju sedimen berdasarkan hasil erosi lahan dan distribusi sedimen dari Waduk Gondang untuk optimalisasi pengelolaan waduk. Untuk memperkirakan pola distribusi sedimen di waduk digunakan metode empirik pengurangan luas. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa volume sedimen yang terdistribusi pada tampungan efektif sebesar 2,79 juta m<sup>3</sup>, elevasi nol baru waduk setelah 30 tahun pada elevasi +496 m, sisa tampungan efektif sebesar 2,2 juta m<sup>3</sup> dan tidak ada lagi sisa tampungan mati. Hasil tersebut menunjukkan secara teori Waduk Gondang dapat beroperasi sampai umur efektif. Pengelolaan waduk terkait sedimentasi secara struktural maupun non struktural perlu disusun khususnya pengelolaan pada tampungan efektifnya. Pengelolaan sedimen pada tampungan efektif dimaksudkan agar deposisi sedimen pada tampungan efektif selama waduk beroperasi tidak mempengaruhi pemenuhan manfaat dari Waduk Gondang.*

**Kata Kunci:** *Laju sedimentasi, erosi, distribusi sedimen, Waduk Gondang*

## PENDAHULUAN

Isu utama dalam pengelolaan waduk adalah permasalahan sedimentasi. Sedimentasi dapat berupa hasil dari proses erosi lahan pada Daerah Tangkapan Air (DTA) waduk maupun hasil dari longsor tebing sungai atau tebing pada waduk itu sendiri. Sedimen yang masuk ke waduk sebagian akan diendapkan ke dasar waduk dan sebagian lainnya akan dikeluarkan bersama aliran *outflow* (Morris & Fan, 2009).

Waduk Gondang yang terletak di Provinsi Jawa Tengah direncanakan dengan usia guna selama 30 tahun tidak terlepas dari ancaman permasalahan sedimentasi. Aliran sungai yang masuk ke dalam waduk Gondang berpotensi membawa sedimen dalam jumlah besar dari hasil erosi lahan yang terjadi. Sedimen yang terlarut bersama dengan aliran debit sungai akan diendapkan ke dalam waduk selama waduk beroperasi.

Perencanaan volume tampungan mati hanya memperhitungkan bahwa keseluruhan sedimen yang masuk akan diendapkan pada tampungan matinya saja, namun pada kenyataannya sedimen tidak hanya diendapkan pada tampungan mati (Iskhar et al., 2018).

Sedimen dari hasil erosi lahan yang terjadi akan diendapkan keseluruh permukaan waduk berdasarkan suatu pola yang dipengaruhi oleh bentuk waduk, jenis operasi dan jenis sedimen yang terbawa (Morris & Fan, 2009). Perhitungan laju sedimen pada waduk dapat menggunakan perhitungan erosi lahan dan perhitungan sedimen layang yang terlarut bersama debit aliran sungai dan sedimen dasar (*bed load*). Sedimen layang yang terlarut pada aliran sungai juga merupakan hasil dari proses erosi lahan yang terjadi (Morris & Fan, 2009).

Sedimen yang masuk ke dalam waduk akan mengendap pada setiap permukaan waduk. Pola distribusi sedimen di dalam waduk memiliki karakteristik yang berbeda untuk tiap waduk bergantung kepada bentuk waduk, sistem operasi dan ukuran butiran sedimennya (Morris & Fan, 2009). Pola distribusi sedimen pada waduk berguna dalam memperkirakan volume efektif yang tersedia sepanjang umur efektif waduk. Berkurangnya kapasitas tampungan efektif waduk akibat sedimentasi berpengaruh terhadap kapasitas manfaat waduk terhadap pengendalian banjir, produksi listrik dan pangan (Soewarno & Syariman, 2008).

Berdasarkan permasalahan tersebut di atas, maka dibutuhkan kajian untuk memprediksi laju sedimen pada Waduk Gondang selama umur efektif. Pola distribusi sedimen pada Waduk Gondang dibutuhkan dalam usaha pemeliharaan

waduk yang lebih optimal untuk keberlanjutan fungsi Waduk Gondang.

## METODOLOGI

Analisis erosi menggunakan analisis spasial di wilayah DTA Waduk Gondang. Peta DTA Waduk didapat dari *generate* peta DEM dengan perangkat lunak GIS. Analisis dilakukan dengan melakukan tumpang tindih peta kebutuhan parameter USLE. Dari masing-masing sub DTA didapatkan parameter USLE untuk kemudian dihitung nilai erosi aktualnya. Besarnya erosi aktual yang didapatkan digunakan sebagai input parameter sedimen dalam pendugaan distribusi sedimen pada Waduk Gondang. Pengumpulan Data Sekunder

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1 Data hujan harian STA Tawangmangu tahun 2002 – 2018 (sumber :BBWS Bengawan Solo)
- 2 Peta vektor (shp) Tutupan Lahan Kab Karanganyar tahun 2017 skala 1: 25.000 (sumber : KLHK)
- 3 Peta Topografi Kab. Karanganyar berupa raster (sumber : Demnas)
- 4 Data hubungan elevasi-luas-tampungan awal Waduk Gondang (sumber : BBWS Bengawan Solo)
- 5 Data Teknis Waduk Gondang (sumber : BBWS Bengawan Solo).
- 6 Peta vektor (shp) Jenis Tanah Kab. Karanganyar tahun 2015 (sumber : Kementerian Pertanian)

## Erosi Lahan

Pendugaan erosi lahan yang terjadi merupakan salah satu sumber dalam analisis sedimentasi (Julien, 2010). Menurut Asdak (2014), proses erosi terdiri atas tiga bagian yang berurutan yaitu pengelupasan (*detachment*), pengangkutan (*transportation*) dan pengendapan (*sedimentation*). Sebagian besar waduk di Indonesia yang memiliki permasalahan sedimentasi memiliki DTA yang buruk (Marhendi, 2013). Pengelolaan DTA yang kurang mempertimbangkan aspek hidrologi dan konservasi air menjadi akar dari persoalan ini.

Jenis erosi yang dapat terjadi antara lain *upland erosion*, *gully erosion*, dan *bank erosion*. Dalam perhitungan erosi total, faktor yang paling berpengaruh adalah *upland erosion* yang lebih dikenal dengan erosi lahan (Julien, 2010). Laju erosi di daerah tangkapan waduk dapat diprediksi dengan rumus pendekatan *Universal Soil Loss Equation* (USLE) dalam Persamaan 1:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \dots\dots\dots(1)$$

Dimana laju erosi (A) menurut Asrib (2012) dipengaruhi oleh :

- 1 Faktor hujan dan aliran permukaan (erosivitas hujan) (R), dinyatakan dalam persamaan (2) :

$$R = 6,119 \times P_b^{1,211} \times N^{-0,474} \times P_{max}^{0,526} \dots \dots \dots (2)$$

dengan :

R = indeks erosi hujan bulanan (KJ/ha);

$P_b$  = curah hujan bulanan (cm);

N = jumlah hari hujan per bulan;

$P_{max}$  = hujan maksimum harian (24 jam) dalam bulan yang bersangkutan

- 2 Erodibilitas tanah (K), dinyatakan berdasarkan jenis tanah dalam Tabel 1

**Tabel 1** Jenis Tanah dan nilai K (Tunas, 2008)

Jenis Tanah	Nilai K
Latosol coklat dan kemerahan dan litosol	0,43
Latosol kuning kemerahan dan litosol	0,36
Komplek mediteran dan litosol	0,46
Latasolkuning kemerahan	0,56
Grumasal	0,20
Alluvial	0,47
Regasol	0,40
Latosol	0,31

- 3 Faktor kemiringan lereng (LS). Besarnya nilai LS tergantung dari prosentase kemiringan lereng, seperti pada Tabel 2 (Herawati, 2010).

**Tabel 3** Nilai faktor C

No.	Jenis Pertanaman	Nilai C
1	Tanah terbuka tanpa tanaman	1
2	Sawah	0,01
3	Tegalan tidak dispesifikasi	0,7
4	Jagung	0,7
5	Hutan alam :	
	Serasah banyak	0,001
	Serasah sedikit	0,005
6	Hutan Produksi :	
	Tebang habis	0,5
	Tebang pilih	0,2
7	Semak belukar, padang rumput	0,3

**Tabel 2** Nilai LS untuk tiap kelas lereng

Kelas	Kemiringan	LS
I	0 – 8%	0,40
II	8 – 15%	1,40
III	15 – 25%	3,10
IV	25 – 40%	6,80
V	>40%	9,50

- 4 Faktor vegetasi penutup tanah (C), Faktor tanaman merupakan rasio dari tanah pada tanaman tertentu dengan tanah gundul. **Tabel 7** merupakan nilai C untuk berbagai tanaman dan pengelolaan tanaman menurut Suripin (2004).

Faktor tindakan konservasi tanah (P), Bila diteraskan, nilai P dianggap sama dengan P untuk *strip cropping*. Menurut Harmayanti, Konsukartha, Permana & (2015) nilai P pada beberapa teknik konservasi tanah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tingkat erosi lahan pada suatu daerah menurut Departemen Kehutanan (1998) dinyatakan dalam 5 kelas tingkat bahaya erosi (TBE) seperti dalam Tabel 5.

**Tabel 4** Nilai P pada beberapa Teknik konservasi tanah

No.	Jenis Teknik	Nilai P
1	Teras Tradisional	0.40
2	Penanaman menurut kontur lereng :	
	> 0 - 8 %	0.50
	> 9 - 20 %	0.75
	> 20 %	0.90
3	Strip tanaman rumput Bahia	0.40
4	Tanpa tindakan konservasi	1.00

**Tabel 5** Klasifikasi tingkat bahaya erosi

Kelas TBE	Soil Loss (T/Ha/Th)	Keterangan
I	< 15	Sangat Ringan
II	16 – 60	Ringan
III	60 – 180	Sedang
IV	180 – 480	Berat
V	>480	Sangat Berat

### Laju Sedimentasi di Waduk

Sedimen yang mengalir melalui sungai ke waduk merupakan hasil dari pelapukan batuan yang kemudian menjadi partikel tanah (Tatipata, Soekarno, Sabar, & Legowo, 2015). Tidak semua hasil dari erosi akan masuk ke sungai dan mengalir ke dalam waduk.

Nisbah Pelepasan Sedimen (*Sediment Delivery Ratio*) atau cukup dikenal dengan SDR adalah perhitungan untuk memperkirakan besarnya hasil sedimen dari suatu daerah tangkapan air. Variabilitas angka SDR dari suatu DAS ditentukan antara lain oleh sumber sedimen, jumlah sedimen, sistem transpor, Tekstur partikel-partikel tanah yang tererosi, lokasi deposisi sedimen dan karakteristik DAS (Asdak, 2014).

Menurut USDA (1983) besarnya prakiraan hasil sedimen dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 3 berikut ini:

$$SY = (Ea \times SDR) WS \quad (3)$$

dimana :

SY = jumlah sedimen per satuan luas (ton/tahun)

SDR = *sediment delivery ratio*

Ea = erosi total (ton/ha/tahun)

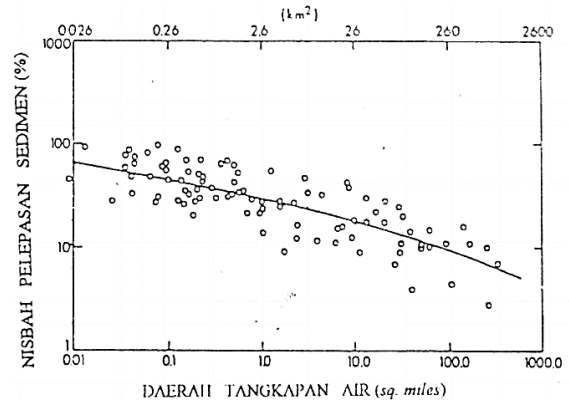
WS = luas DAS (ha)

Nilai SDR dapat ditentukan dari nomograf SDR seperti pada Sumber: Asdak, 2014

**Gambar 1.** Nilai sdr juga dapat ditentukan dengan persamaan 4 (Boyce, 1975) :

$$SDR = 0,41 A_t^{-0,3} \quad (4)$$

Dimana  $A_t$  adalah Luas DAS ( $km^2$ )

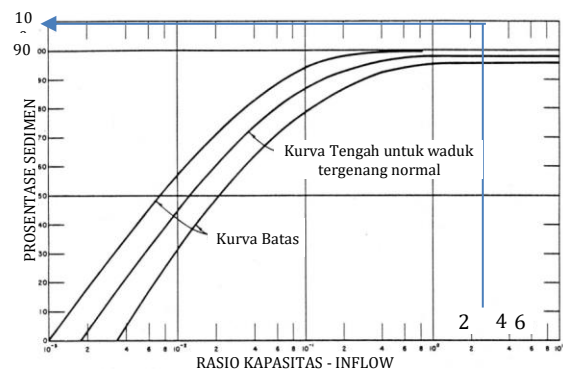


Sumber: Asdak, 2014

**Gambar 1** Nomograf untuk menghitung nilai SDR

Kemampuan waduk untuk menahan dan mengendapkan sedimen tersebut disebut koefisien penangkap atau *trap efficiency*, yang dinyatakan terhadap persen terhadap banyaknya sedimen yang terbawa aliran masuk. Efisiensi penangkap sedimen tergantung pada kapasitas waduk dan besarnya inflow tahunan ke dalam waduk (Legowo, Hadihardaja, & Rabuanawati, 2010).

Hubungan empiris untuk memperkirakan nilai efisiensi tangkapan waduk dinyatakan dalam grafik hubungan kapasitas dan inflow tahunan Waduk Gondang seperti pada Gambar 2 yang dikembangkan oleh Brune (1953).



Sumber: Brune, 1957

**Gambar 2** Kurva prosentase endapan sedimen

Proses deposisi sedimen di waduk dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor yang paling dominan mempengaruhi yaitu ukuran butir sedimen, kecepatan inflow, dan konsentrasi sedimen (Hutagaol, 2018).

Analisis distribusi sedimen dalam penelitian ini menggunakan Metode Empiris Pengurangan Luas (*Empirical Area Reduction Method*). Metode Empiris Pengurangan Luas memiliki tingkat

kesalahan yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan metode empiris penambahan luas (Tukaram, 2016).

Perbedaan antara dua metode tersebut adalah penggunaan tipe kurva untuk mendistribusikan sedimen. Pada dasarnya kedua metode tersebut dapat diselesaikan dengan langkah-langkah berikut ini (Morris & Fan, 2009):

- Penentuan volume sedimen yang mengendap di waduk.
- Pemilihan kurva untuk memplotkan titik hubungan antara nilai  $F$  dan kedalaman relatif ( $p$ ). Tipe kurva ditentukan berdasarkan :

Bentuk waduk, ditentukan menurut dalam **Tabel 6**, penentuan nilai  $m$  (nilai hubungan kedalaman dan kapasitas waduk) didasarkan pada hubungan kedalaman dan tampungan waduk seperti pada

Sumber: Morris and Fan, 2009

- Gambar 3**. jika nilai  $m$  bervariasi maka dapat diambil nilai  $m$  yang paling dominan
- Sistem operasi waduk, ditentukan menurut **Tabel 7**,
- Ukuran butiran sedimen, ditentukan menurut **Tabel 7**.

**Tabel 6** Bentuk waduk dan tipe kurva

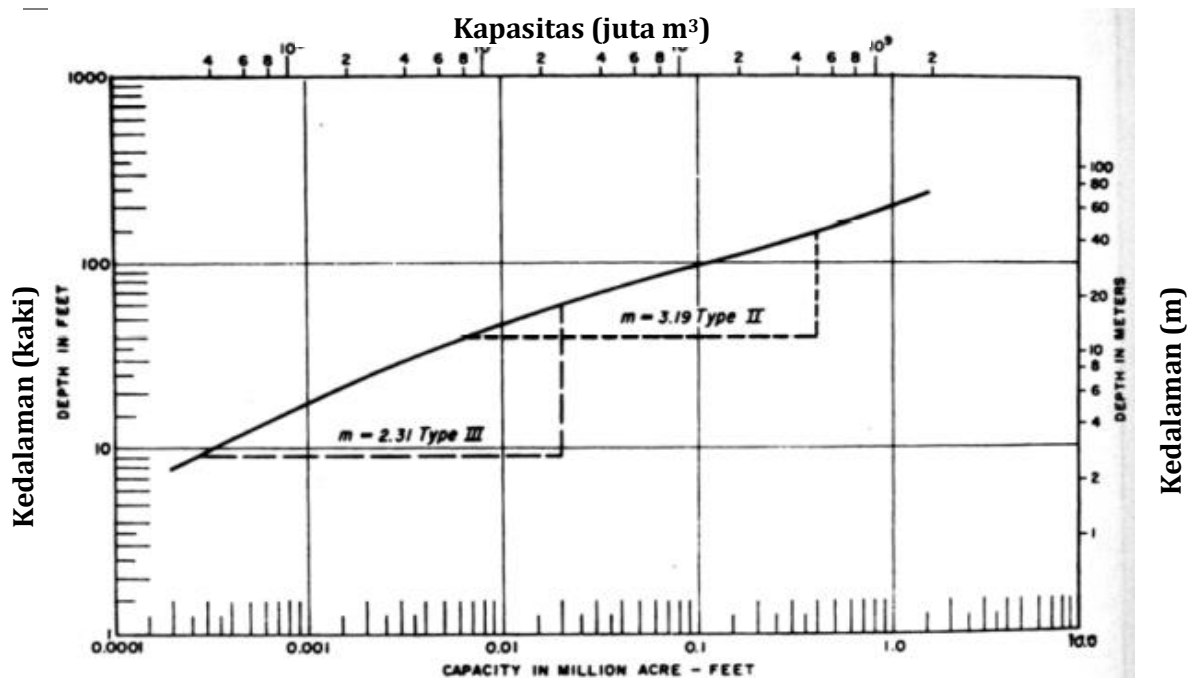
Bentuk waduk	Tipe kurva	$m$
Danau	I	3,5 - 4,5
Dataran – kaki bukit	II	2,5 – 3,5
Bukit - pegunungan	III	1,5 – 2,5
Pegunungan	IV	1,0 – 1,5

**Tabel 7** Sistem operasi waduk dan tipe kurva

Operasi waduk	Tingkat operasional	Tipe	Tipe Kurva
Sedimen terendam di waduk	I	I	I
		II	I atau II
		III	II
Surutan muka air waduk sedang	II	I	I atau II
		II	II
		III	II atau III
Surutan muka air waduk cukup besar	III	I	II
		II	II atau III
		III	III
Dalam keadaan normal waduk kosong	IV		IV

**Tabel 8** Ukuran butiran sedimen waduk dan tipe kurva

Sedimen yang dominan	Tipe
Pasir atau material kasar	I
Lanau	II
Lempung	III



Sumber: Morris and Fan, 2009

Kapasitas (juta are)

**Gambar 3** Contoh penentuan Nilai Hubungan Kedalaman dan Kapasitas Waduk

- c. Penentuan kedalaman nol baru pada waduk dengan menentukan Fungsi tak berdimensi (F) tiap-tiap elevasi dengan persamaan (Morris & Fan, 2009) :

$$F = \frac{S - V_h}{H A_h} \quad (5)$$

dengan S = total sedimen yang mengendap (m<sup>3</sup>), H = kedalaman waduk mula-mula (m), V<sub>h</sub> = volume total waduk pada kedalaman elevasi H (m<sup>3</sup>), A<sub>h</sub> = luas total waduk pada kedalaman elevasi H (m<sup>2</sup>).

Nilai p (kedalaman relatif) dapat dihitung dengan persamaan (Morris & Fan, 2009) :

$$p = \frac{h}{H} \quad (6)$$

dengan h = kedalaman pada elevasi H (m) dan H = kedalaman total mula-mula (m). Nilai F dan p di plot kedalam grafik seperti pada Gambar 4 untuk dicari perpotongannya dengan kurva yang ditentukan sebagai dasar penentuan elevasi nol waduk yang baru setelah T-tahun.

- d. Pendistribusian sedimen pada setiap kedalaman waduk berdasarkan kurva tipe waduk yang ditentukan dengan menghitung luas relatif (a) berdasarkan kedalaman relatif (p) menggunakan persamaan (Morris & Fan, 2009) :

$$\text{tipe I : } a = 5,047p^{1,85} (1-p)^{0,36} \quad (7)$$

$$\text{tipe II : } a = 2,487p^{0,57} (1-p)^{0,41} \quad (8)$$

$$\text{tipe III : } a = 16,967p^{1,15} (1-p)^{2,32} \quad (9)$$

$$\text{tipe IV : } a = 1,486p^{-0,25} (1-p)^{1,34} \quad (10)$$

- e. Perhitungan luas terkoreksi dengan membagi luas tampungan awal pada elevasi nol baru dengan luas relatifnya
- f. Perhitungan luas terdistribusi pada tiap elevasi dengan mengkalikan luas tampungan awal dengan luas terkoreksi pada point (e) untuk elevasi diatas nol baru.

- g. Perhitungan distribusi sedimen pada tiap-tiap elevasi dengan Persamaan (Morris & Fan, 2009) :

$$V_{sh} = \frac{a_h + a_{h-1}}{2} \cdot \Delta h \quad (11)$$

dengan V<sub>sh</sub> = volume sedimen pada kedalaman h (m<sup>3</sup>), a<sub>h</sub> = luas terdistribusi pada kedalaman h (m<sup>2</sup>), a<sub>h-1</sub> = luas terdistribusi pada kedalaman h-1 (m<sup>2</sup>), Δh = selisih kedalaman (m)

- h. Perhitungan tampungan aktual waduk setelah T-Tahun dengan mengurangi tampungan awal dengan distribusi sedimen pada tiap-tiap elevasi pada poin e

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Erosi DTA Waduk

Laju erosi merupakan besarnya erosi lahan yang terjadi pada DTA waduk yang berpotensi menjadi sumber terjadinya sedimentasi pada waduk. Besarnya erosi aktual dihitung dari perkalian faktor-faktor yang mempengaruhi.

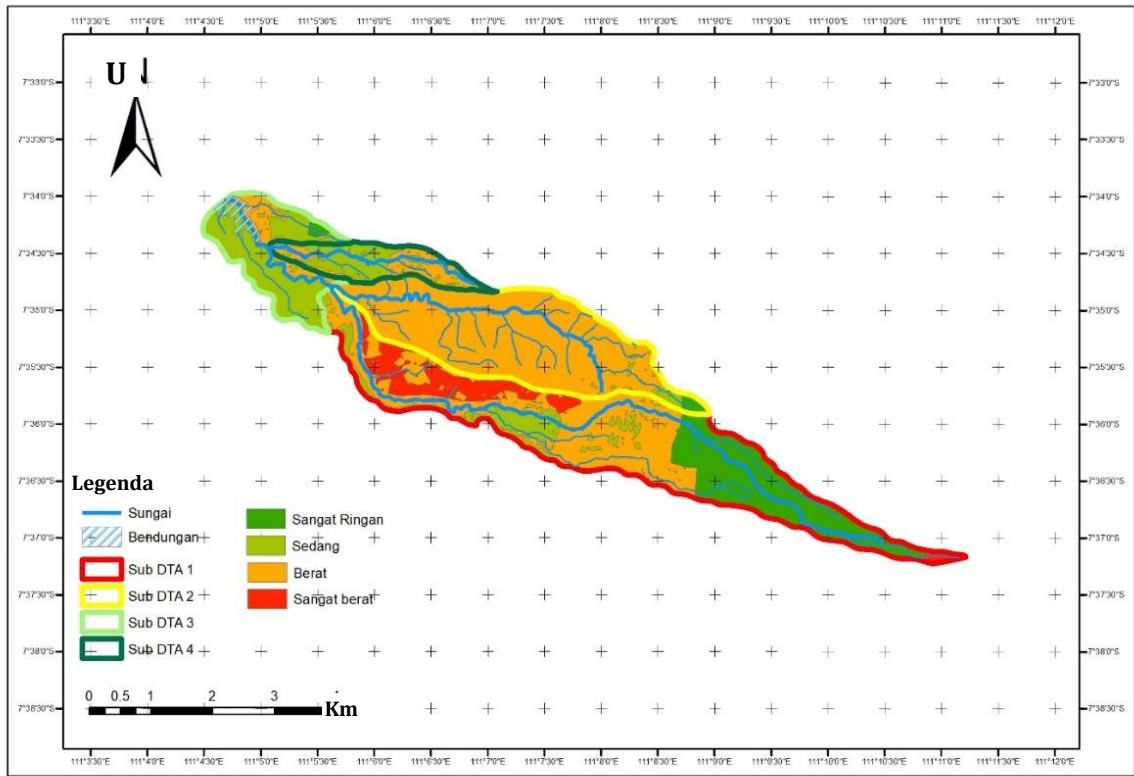
Rekapitulasi perhitungan erosi aktual tiap sub DTA Waduk dapat dilihat pada

Tabel 8. Sebaran tingkat bahaya erosi pada DTA waduk dapat dilihat pada Gambar 5. Dari perhitungan pada

Tabel 8, erosi aktual yang terjadi pada DTA Waduk Gondang sebesar 885,165 Ton/Th/Ha. Dengan luas DTA Waduk sebesar 2095,337 Ha, didapatkan sebaran tingkat bahaya erosi pada DTA waduk Gondang meliputi sangat ringan 14,42%, sedang 23,26%, berat 55,71% dan sangat berat 6,13%. Erosi aktual yang terjadi pada Waduk Gondang dalam analisis ini mengalami peningkatan dari analisis dari detail desain waduk. Perbedaan yang cukup signifikan ini dikarenakan perbedaan penentuan parameter USLE dan tingkat kebaruan data yang digunakan.

**Tabel 8** Erosi Aktual DTA Waduk Gondang

Nama Sub DTA	Luas (Ha)	Luas (km <sup>2</sup> )	R (KJ/Ha/th)	K (Ton/KJ)	LS	C	P	Ea (Ton/Ha/Th)
Sub DTA 1	910,684	9,10684	3.034,7031	0,4343	0,4854	0,4308	0,7868	216,853
Sub DTA 2	626,532	6,26532	3.034,7031	0,5533	0,3378	0,6604	0,8117	304,011
Sub DTA 3	405,092	4,05092	3.034,7031	0,4674	0,2574	0,6604	0,7218	174,009
Sub DTA 4	153,029	1,53029	3.034,7031	0,5600	0,2645	0,5815	0,7280	190,291
<b>Total</b>	<b>2095,337</b>	<b>20,95337</b>						<b>885,165</b>



Gambar 4 Peta Sebaran TBE (Tingkat Bahaya Erosi) DTA Waduk Gondang

Tabel 9 Prediksi Volume Tampungan pada Tahun ke-30 Waduk Beroperasi (T<sub>30</sub>)

Elevasi	Kedalaman	Awal Operasi (T <sub>0</sub> )		Setelah 30 Tahun (T <sub>30</sub> )		Keterangan
		Luas m <sup>2</sup>	Vol. m <sup>3</sup>	Luas m <sup>2</sup>	Vol. m <sup>3</sup>	
520	61	482,268.25	9,152,281.95	482,268.25	3,938,585.38	Top Dam
515	56	360,993.63	7,064,599.29	251,745.33	2,232,666.76	Spillway
510	51	309,314.16	5,384,374.08	171,693.13	1,176,879.44	
505	46	259,920.76	3,959,054.12	106,692.38	482,279.59	
500	41	210,426.74	2,784,828.78	48,961.54	97,226.62	
496	37	164,108.63	2,035,468.68	-	-	Intake/nol baru
490	31	114,998.02	1,215,387.82	-	-	
485	26	82,051.12	727,109.58	-	-	
480	21	58,453.06	377,475.29	-	-	
475	16	32,622.63	149,585.93	-	-	
470	11	10,535.85	35,914.32	-	-	
465	6	2,352.24	7,369.64	-	-	
460	1	533.86	276.82	-	-	
459	0	19.77	-	-	-	Dasar Sungai



### Laju Sedimentasi di Waduk

Sedimen potensial yang diperkirakan terjadi sebesar 179.571,43 m<sup>3</sup>/tahun. Nilai total sedimen potensial tadi harus dikalikan nilai *trap efficiency* agar diperoleh sedimen yang terdeposisi. Nilai *trap efficiency* dipengaruhi oleh *capacity-inflow ratio (C/I)* waduk kemudian diplot ke dalam grafik pada **Gambar 2**. *Capacity-inflow ratio* pada Waduk Gondang sebesar 3,27 sehingga nilai *trap efficiency* adalah sebesar 99% dan diperoleh total sedimen terdeposisi di waduk sebesar 177.775,72 m<sup>3</sup>/tahun.

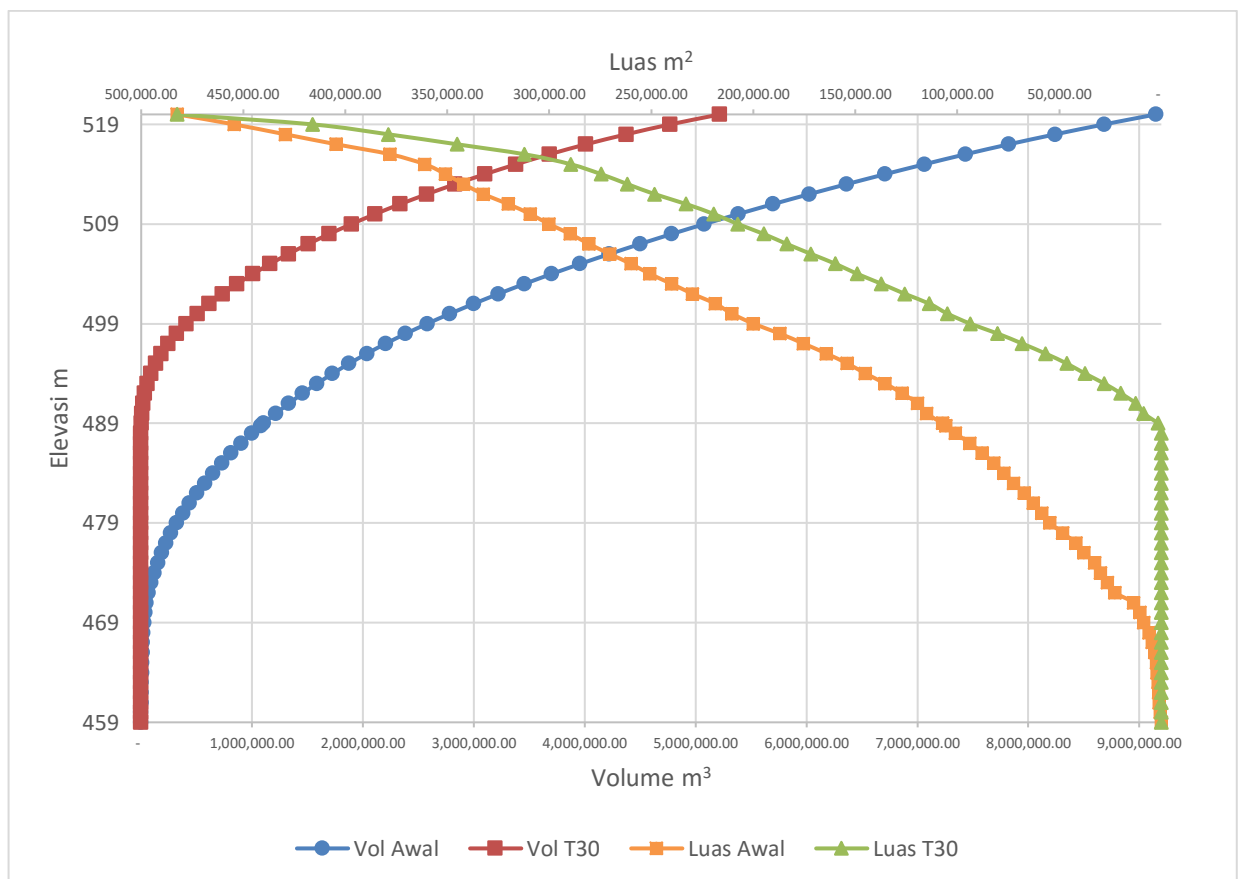
### Distribusi Sedimen di Waduk

Berdasarkan hasil perhitungan dengan Metode Empiris Pengurangan Luas diperoleh elevasi nol baru sedimen yang mengendap pada elevasi +496 m. Pada Waduk Gondang elevasi *intake* ada pada elevasi +496, sehingga dari hasil analisis distribusi elevasi nol baru waduk akibat sedimentasi selama 30 tahun tepat berada pada elevasi *intake*. Distribusi sedimen untuk tiap-tiap elevasi disajikan pada **Tabel 9**.

Berdasarkan hasil analisis distribusi sedimen untuk tiap-tiap elevasi diperoleh kurva lengkung

kapasitas tampungan waduk untuk tahun awal operasi waduk (T<sub>0</sub>) dan tahun umur efektif berakhir (T<sub>30</sub>), yang disajikan dalam Gambar 7. Setelah 30 tahun waduk beroperasi dasar waduk baru berada pada elevasi +496 m atau tepat berada pada elevasi *intake*. Kapasitas dan luas tampungan Waduk Gondang mengalami perubahan akibat deposisi sedimen. *Effective storage* yang tersisa sebesar 2,2 juta m<sup>3</sup> (vol. T<sub>30</sub> pada elevasi 515 – vol T<sub>30</sub> elevasi 496) dari kapasitas awal sebesar 5,03 Juta m<sup>3</sup> (vol. T<sub>0</sub> elevasi 515 – vol T<sub>0</sub> elevasi 496). *Dead storage* tersisa 0 juta m<sup>3</sup> (vol T<sub>30</sub> elevasi 496) dari kapasitas awal 2,03 juta m<sup>3</sup> (vol T<sub>0</sub> elevasi 496).

Dari hasil distribusi sedimen sebanyak 53,64% sedimen mengendap pada *effective storage*, 7,32% pada *flood storage* dan 39,04% pada *dead storage*. Secara teoritis Waduk Gondang dapat beroperasi sepanjang umur efektifnya, akan tetapi deposisi sedimen pada *effective storage* dan *flood storage* dapat menimbulkan permasalahan lain apabila tidak dilakukan pengelolaan. Kemampuan waduk dalam pemenuhan fungsi waduk seperti irigasi, air baku, PLTMH dan pengendalian banjir akan semakin menurun akibat deposisi sedimen.



**Gambar 5** Lengkung Kapasitas-Luas tampungan Waduk Gondang



## KESIMPULAN

Dari hasil analisis erosi yang terjadi pada DTA waduk sebesar 885,165 ton/Ha/tahun. menghasilkan laju sedimentasi sebesar 177.775,72 m<sup>3</sup>/tahun. Sampai dengan umur efektif berakhir (30 tahun) *dead storage* Waduk Gondang tepat terisi penuh oleh sedimen. Kapasitas *dead storage* pada elevasi +496 m telah penuh terisi sedimen. Volume sedimentasi yang terjadi pada waduk gondang sepanjang umur efektifnya sebesar 5,33 juta m<sup>3</sup> yang terdistribusi pada *flood storage* sebesar 0,38 juta m<sup>3</sup>, *effective storage* sebesar 2,79 juta m<sup>3</sup> dan pada *dead storage* sebesar 2,04 juta m<sup>3</sup>.

Sedimentasi pada Waduk Gondang tidak hanya mengendap pada *dead storage*. Lebih dari 50% total sedimen diprediksi mengendap pada *effective storage* yang akan mengurangi *performance* waduk dalam pemenuhan manfaatnya. Simulas *inflow* dan *outflow* dalam pola operasi waduk akan terganggu akibat deposisi sedimen pada *effective storage*. Untuk mempertahankan nilai manfaat waduk sepanjang umur efektif perlu dilakukan upaya pengelolaan sedimen. Dari hasil analisis, pengelolaan sedimen yang optimal dilakukan pada elevasi *effective storage* (+496 s.d. +415) dan *flood storage* (+415 s.d. +420).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Bapak Dr. Ir. Pranoto S.A., Dipl. He, MT dan Ibu Dr. Dyah Ari Wulandari, ST, MT selaku pembimbing dalam penyusunan jurnal ini dan Bapak Dr. Ir. Suharyanto, M.Eng selaku Kepala Prodi Magister Teknik Sipil Undip yang telah memberikan bimbingan dan dukungan selama perkuliahan

## DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. (2014). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Asrib, A. R. (2012). Model Pengendalian Sedimentasi Waduk Akibat Erosi Lahan Dan Longsoran Di Waduk Bili-Bili Sulawesi Selatan. *Desertation*. Institut Pertanian Bogor.
- Boyce, R. C. (1975). Sediment Routing with Sediment-Delivery Ratios. *ARS-S-40*, 61–65.
- Brune, G. M. (1953). Trap Efficiency of Reservoirs. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 34(3), 407–418.  
<https://doi.org/10.1029/TR034i003p00407>
- Departemen Kehutanan. (1998). *Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Teknik Lapangan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai*. Jakarta: Departemen Kehutanan.
- Harmayanti, K. D., Konsukartha, G. M., & Permana, I.B.D.(2015). Analisis Tingkat Erosi dan Sedimentasi di Danau Buyan. Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 9 UAJ Yogyakarta.
- Herawati, T. (2010). Analisis Spatial Tingkat Bahaya Erosi di Wilayah Cisadane Kabupaten Bogor. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, VII(No 4), 413–424.
- Hutagaol, C. R. (2018). *Kajian Sedimentasi pada Waduk Gajah Mungkur di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah*. Magister Pengelolaan Sumber Daya Air Institut Teknologi Bandung.
- Iskhar, Suripin, & Isdiyana. (2018). A Study of Sedimentation at the River Estuary on the Change of Reservoir Storage. *E3S Web of Conferences*, 31, 3001.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183103001>
- Julien, Y. P. (2010). *Erosion and Sedimentation (second edition)*. New York: Cambridge University Press.
- Legowo, S., Hadihardaja, I. K., & Rabuanawati, S. (2010). Pengoperasian dan Umur Guna Waduk. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(4), 183–200.
- Marhendi, T. (2013). Strategi Pengelolaan Sedimentasi Waduk. *Techno*, 14(2), 120-125.
- Morris, G. L., & Fan, J. (2009). *Reservoir Sedimentation Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Shinde, T., Nimbakar, P., & Gidde, M. (2016). Comparison of Area Reduction Method and Area Increment Method for Reservoir Sedimentation Distribution - Case Study Ujjani Dam. *International Journal of Research in Advanced Engineering and Technology*, 2(3), 108–111.
- Soewarno, & Syariman, P. (2008). Sedimentation Control: Part II. Intensive Measures the Inside of the Mrica Reservoir, Central Java. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, 3(1), 17–24.
- Soil Conservation Service. (1983). National Engineering. In *National Engineering Handbook Section 3: Sedimentation*. Washington DC: United States Departement of Agriculture.

Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.

Tatipata, W. H., Soekarno, I., Sabar, A., & Legowo, S. (2015). Analisis Volume Sedimen yang

Mengendap Setelah T-Tahun Waduk Beroperasi (Studi Kasus : Waduk Cirata). *Jurnal Teknik Sipil*, 22(3), 235–242.