

## **PENGARUH SEDIMETASI PADA KINERJA PENGOPERASIAN WADUK SERBAGUNA WONOGIRI**

Hana Umayektinisa, Niken Ajeng S.P., Suharyanto <sup>\*)</sup>, Sumbogo Pranoto <sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

### **ABSTRAK**

*Pengoperasian waduk tidak dapat dihindarkan dari masalah sedimentasi. Hal tersebut terjadi karena secara alami bahan angkutan sedimen di sungai akan tertampung dan terendapkan di dalam waduk akibat adanya bendungan. Namun tidak semua sedimen yang terendap di waduk akan langsung masuk pada tampungan mati (dead storage), sebagian sedimen yg bergradasi besar akan mengendap pada tampungan efektif. Telah banyak penelitian dan upaya untuk mengurangi pengaruh sedimentasi waduk. Akan tetapi, masih sedikit (jika ada) penelitian mengenai pengaruh dari sedimentasi waduk pada kinerja pengoperasian waduk. Dalam penelitian mengenai pengaruh sedimentasi pada kinerja pengoperasian waduk single purpose disimpulkan bahwa pengaruh sedimentasi tidak signifikan. Oleh karenanya, dalam penelitian ini dilakukan penelitian mengenai pengaruh sedimentasi pada kinerja operasional waduk serbaguna. Penelitian ini dilakukan dengan simulasi pengoperasian waduk dengan berbagai pola operasi dan kondisi sedimentasi.*

**kata kunci :** Waduk, Sedimentasi, Simulasi Operasi Waduk, Indikator Kinerja Waduk

### **ABSTRACT**

*The operation of the reservoir can't be avoided from the problem of sedimentation. This happens because the natural ingredients in the river sediment transport will be accommodated and deposited in the reservoir due to the dam. But not all the sediment deposited in the reservoirs will go straight into the dead storage, most of the sediment will be deposited on effective storage. Has been a lot of research and efforts to reduce the influence of reservoir sedimentation. However, little (if any) research on the effect of reservoir sedimentation in reservoir operation performance. In a study on the effect of sedimentation on the operating performance of single-purpose dam sedimentation concluded that the effect was not significant. Therefore, in this study conducted research on the effect of sedimentation in the multipurpose reservoir operational performance. This research was conducted by simulating the operation of reservoirs with different patterns of operation and conditions of sedimentation.*

**keywords:** Reservoir, Sedimentation, Operations Simulation Reservoir, Reservoir Performance Indicators

---

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

## **PENDAHULUAN**

Waduk adalah tampungan air yang terbentuk akibat adanya bangunan yang melintang sungai (bendungan). Akibat dari membendung sungai, maka secara alami bahan angkutan sedimen di sungai akan tertampung dan terendapkan di dalam waduk. Namun tidak semua sedimen yang terendap di waduk akan langsung masuk pada tampungan mati (*dead storage*), sebagian sedimen yg bergradasi besar akan mengendap pada tampungan efektif. Hal ini menyebabkan tampungan efektif waduk berkurang, sehingga kinerja operasi waduk terganggu meskipun umur waduk belum tercapai. Salah satu studi tentang pengaruh sedimentasi pada kinerja pengoperasian waduk tunggal guna PLTA, menyatakan bahwa pengaruh sedimen tidak secara signifikan mempengaruhi kinerja Waduk Sutami (Daniel Rohi, et.al.,2015). Sedangkan studi tentang pengaruh sedimen pada kinerja waduk serbaguna masih sedikit.

Berdasarkan uraian diatas timbul pemikiran untuk melakukan penelitian mengenai pengaruh sedimentasi terhadap kinerja waduk serbaguna. Penelitian ini akan mengkaji seberapa besar pengaruh sedimentasi terhadap kinerja waduk dengan melakukan simulasi pengoperasian waduk pada berbagai pola operasi dan kondisi sedimentasi.

Penelitian ini merupakan kajian untuk mengetahui pengaruh sedimentasi terhadap kinerja waduk serbaguna. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui seberapa besar pengaruh sedimentasi pada kinerja pengoperasian Waduk Serbaguna Wonogiri dengan melakukan simulasi pengoperasian waduk dengan berbagai pola operasi dan kondisi sedimentasi.

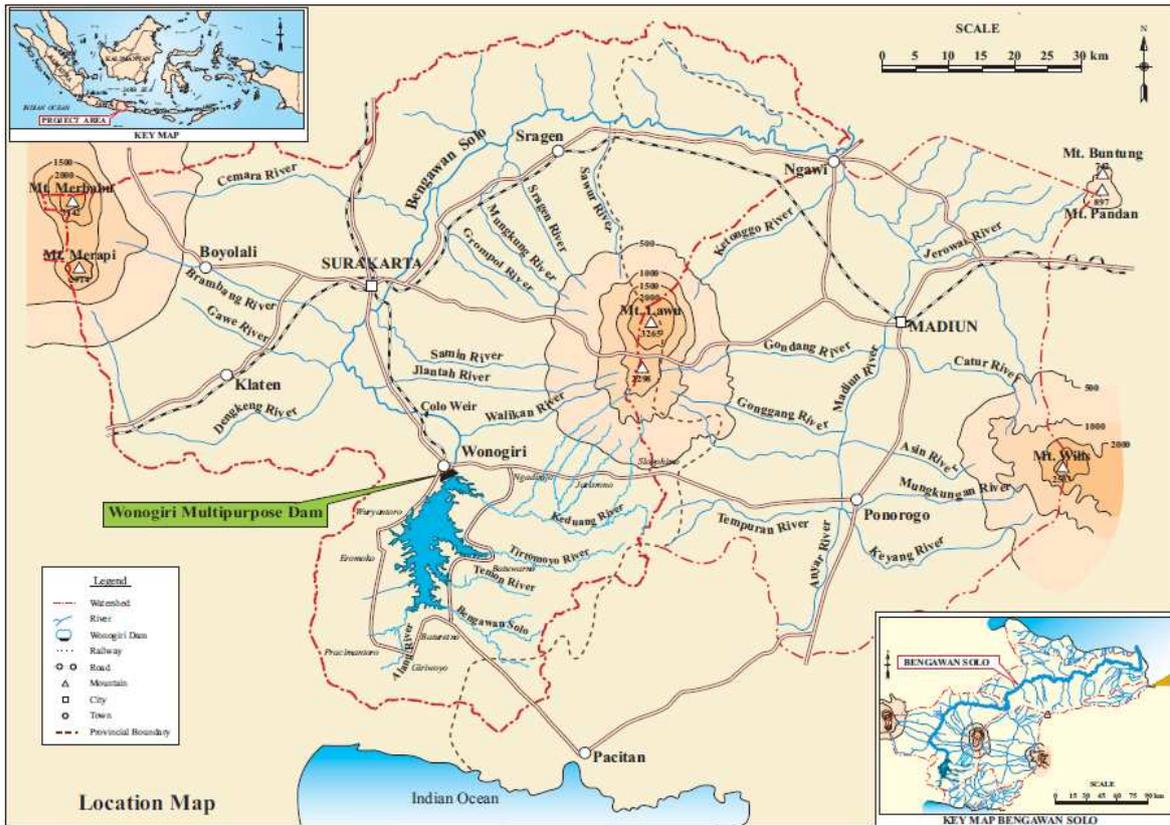
Sebagai batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Simulasi pengoperasian waduk pada berbagai kondisi sedimentasi yaitu pada umur waduk 0, 25, 34 dan 35 tahun.
2. Simulasi pengoperasian waduk dengan menggunakan pola operasi eksisting, SOP, dan *rule curve*.
3. Analisa komparasi kinerja pengoperasian waduk yaitu keandalan, kelentingan dan kerawanan.

Lokasi Penelitian akan dilakukan pada Waduk Wonogiri atau sering disebut Waduk Gajah Mungkur, Desa Wuryorejo, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah, dengan luas daerah tangkapan 1330 km<sup>2</sup> dan luas genangan sebesar 90 km<sup>2</sup>, dapat dilihat pada Gambar 1.

### **Penentuan Pola Operasi Waduk**

Penentuan kebijakan pola operasi waduk dapat dilakukan dengan beberapa teknik. Pada penelitian ini hanya menggunakan tiga pola operasi yaitu pola operasi *standart operation procedure*, dan *rule curve*.



Gambar 1. Lokasi Penelitian  
(Sumber : Dirjen SDA Kementerian PU Republik Indonesia, 2007)

**Rule Curve**

*Rule Curve* adalah kurva yang menunjukkan keadaan waduk (volume waduk) yang harus dicapai pada setiap akhir periode pengoperasian pada suatu nilai *outflow* tertentu (Mc. Mahon, 1978). *Rule curve* ini digunakan sebagai pedoman pengoperasian waduk dalam menentukan pelepasan yang diijinkan dan sebagai harapan memenuhi kebutuhan. Akan tetapi pada kenyataannya, kondisi muka air waduk pada awal operasi belum tentu akan sama *rule curve* rencana. Untuk mencapai elevasi awal operasi yang direncanakan, mungkin harus lebih banyak volume air yang dibuang. Sebaliknya apabila debit terjadi dari tahun-tahun kering, rencana pelepasan harus disesuaikan dengan kondisi yang ada.

**Pola Baku (Standart Operation Procedure, SOP)**

Kebijakan pola pengoperasian waduk berdasarkan SOP adalah dengan menentukan *outflow* terlebih dahulu berdasarkan ketersediaan air di waduk dikurangi kehilangan air. Se jauh mungkin *outflow* yang dihasilkan dapat memenuhi seluruh kebutuhan dengan syarat air berada dalam zona kapasitas / tampungan efektif. Besarnya pelepasan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$RL_t = I_t + S_{t-1} - E_t - S_{maks}, \text{ apabila } I_t + S_{t-1} - E_t - D_t > S_{maks} \dots \dots \dots (1)$$

$$RL_t = I_t + S_{t-1} - E_t - S_{min}, \text{ apabila } I_t + S_{t-1} - E_t - D_t < S_{min} \dots \dots \dots (2)$$

$$RL_t = D_t, \text{ apabila } S_{min} < I_t + S_{t-1} - E_t - D_t < S_{maks} \dots \dots \dots (3)$$

dimana:

- $RL_t$  = *release* waduk pada bulan ke-t (juta m<sup>3</sup>/bulan);
- $I_t$  = debit inflow waduk pada bulan ke-t (juta m<sup>3</sup>/bulan);
- $S_{t-1}$  = tampungan waduk awal bulan ke-t (juta m<sup>3</sup>/bulan);
- $E_t$  = evaporasi pada bulan ke-t;
- $S_{maks}$  = tampungan waduk maksimum (juta m<sup>3</sup>/bulan);
- $D_t$  = *demand* pada waktu ke-t;
- $S_{min}$  = tampungan waduk minimum (juta m<sup>3</sup>/bulan);
- $t$  = bulan (1, 2, 3, ..., 12).

### Simulasi Pengoperasian Waduk

Pada metode simulasi waduk atau analisis perilaku, besarnya kapasitas waduk yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan kontinuitas penampungan sebagai berikut (Mc. Mahon, 1978):

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - D_t - \Delta E_t - L_t \text{ dengan batasan } 0 \leq S_{t+1} \leq C \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

- $t$  = interval waktu yang digunakan, umumnya satu bulan;
- $S_{t+1}$  = tampungan pada akhir interval waktu  $t$ ;
- $S_t$  = tampungan waduk pada awal interval waktu  $t$ ;
- $Q_t$  = aliran masuk selama interval waktu  $t$ ;
- $D_t$  = kebutuhan selama interval waktu  $t$ ;
- $\Delta E_t$  = evaporasi selama interval waktu  $t$ ;
- $L_t$  = air akibat kebocoran/rembesan selama interval waktu  $t$ ;
- $C$  = kapasitas manfaat/aktif waduk.

### Kinerja Pengoperasian Waduk

Untuk dapat melakukan evaluasi tentang kinerja (*performance*) dari suatu pengoperasian waduk, maka diperlukan adanya indikator atau indeks dari kinerja. Evaluasi tentang filosofi dan karakteristik dari masing-masing indikator kinerja pengoperasian waduk serta aplikasinya pada Waduk Wonogiri di Propinsi Jawa Tengah dapat dijumpai pada Suharyanto (1997). Indikator atau kinerja tersebut dapat meliputi :

a. Keandalan

Kinerja ini menunjukkan/ mengukur kemampuan waduk untuk memenuhi fungsinya yaitu memenuhi kebutuhan. Secara matematis, definisi keandalan dapat diterangkan sebagai berikut:

$$Z_t^1 = \begin{cases} 1 & \text{untuk } R_t \geq D_t \\ 0 & \text{untuk } R_t < D_t \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

$$Z_t^2 = \begin{cases} 1 & \text{untuk } R_t \geq D_t \\ \frac{R_t}{D_t} & \text{untuk } R_t < D_t \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

$$\alpha_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z_t^1 \dots\dots\dots (7)$$

$$\alpha_2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z_t^2 \quad \dots \dots \dots (8)$$

dimana:

R<sub>t</sub> = pelepasan dari waduk pada periode t;

D<sub>t</sub> = kebutuhan air pada periode t;

n = lama jangka waktu pengoperasian;

Z<sub>t</sub> = total waktu dimana waduk mampu memenuhi demand-nya.

b. Kelentingan

Kinerja ini menunjukkan atau mengukur kemampuan waduk untuk kembali ke keadaan memuaskan (*satisfactory*) dari keadaan gagal (*fail*). Secara matematis, definisi kelentingan dapat diterangkan sebagai berikut:

$$W_t = \begin{cases} 1 & \text{jika } R_t \geq D_t \text{ dan } R_{t-1} < D_{t-1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots \dots \dots (9)$$

$$\rho = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n W_t \quad \dots \dots \dots (10)$$

dimana :

W<sub>t</sub> = jumlah rerata terjadinya masa transisi waduk dari keadaan gagal menjadi keadaan memuaskan;

R<sub>t</sub> = pelepasan dari waduk pada periode t;

D<sub>t</sub> = kebutuhan air pada periode t;

n = lama jangka waktu pengoperasian

c. Kerawanan

Kinerja kerawanan menunjukkan/ mengukur seberapa besar (seberapa rawan) suatu kegagalan yang terjadi. Kinerja kerawanan dapat didefinisikan dengan berbagai penafsiran, diantaranya adalah

$$DEF_t = \begin{cases} D_t - R_t & \text{jika } R_t < D_t \\ 0 & \text{jika } R_t \geq D_t \end{cases} \quad \dots \dots \dots (11)$$

$$v_1 = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{DEF_t}{D_t}}{\sum_{t=1}^n W_t} \quad \dots \dots \dots (12)$$

$$v_2 = \max_t \left\{ \frac{DEF_t}{D_t} \right\} \quad \dots \dots \dots (13)$$

$$v_3 = \max_t \{ DEF_t \} \quad \dots \dots \dots (14)$$

dimana:

- $DEF_t$  = variabel kekurangan (*deficit*);
- $R_t$  = pelepasan dari waduk pada periode  $t$ ;
- $D_t$  = kebutuhan air pada periode  $t$ ;
- $n$  = lama jangka waktu pengoperasian;
- $v_1$  = nilai rerata *deficit ratio*;
- $v_2$  = nilai maksimum *deficit ratio*;
- $v_3$  = nilai maksimum *deficit*.

**Erosi**

Arsyad S. (2006) Erosi adalah peristiwa pindahnya atau terangkutnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain oleh media alami. Salah satu persamaan yang dikembangkan untuk mempelajari erosi lahan adalah persamaan Musgrave, yang selanjutnya berkembang menjadi persamaan Universal Soil Loss Equation (USLE). USLE dirancang untuk mempredksi erosi jangka panjang dari erosi lembar dan erosi alur dibawah erosi tertentu.

$$Ea = R \times K \times LS \times C \times P \dots\dots\dots (15)$$

dimana:

- $Ea$  = banyaknya tanah tererosi per satuan luas per satuan waktu (ton/ha/tahun);
- $R$  = faktor erosivitas hujan (KJ/ha/tahun);  $K$ : faktor erodibilitas tanah (ton/KJ);
- $LS$  = faktor panjang – kemiringan lereng (Tidak berdimensi);
- $C$  = faktor tanaman penutup lahan dan manajemen tanaman (Tidak Berdimensi);
- $P$  = faktor tindakan konservasai praktis (Tidak berdimensi).

**Sedimentasi**

Sedimentasi adalah hasil dari pengikisan permukaan tanah yang diangkut oleh aliran air sungai dari daerah hulu dan kemudian diendapkan di daerah hilir. Beberapa angkutan sedimen hasil erosi pada DAS yang sebagian mengendap di dalam waduk berupa (Mulyanto, 2008) yaitu *wash load, suspended load dan bed load*. Untuk menentukan besar sedimentasi yang terjadi, terdapat 2 cara yaitu analisa dari pengukuran sedimen di lapangan dan perhitungan nisbah pelepasan sedimen atau *sediment delivery ratio* (SDR).

Besar sedimen layang berdasarkan pengukuran di lapangan dapat dihitung menggunakan Persamaan 16 berikut ini (Asdak, 1995):

$$Q_s = 0,0864 \times C \times Q \dots\dots\dots (16)$$

dimana:

- $Q_s$  = debit sedimen layang (ton/hari);
- $C$  = konsentrasi sedimen (mg/liter);
- $Q$  = debit aliran sungai ( $m^3$ /detik);

Besar sedimen dasar berdasarkan pengukuran di lapangan dapat dihitung menggunakan Persamaan 17 berikut ini (Yang, 1996):

$$q^{bw} = (5-25\%) Q_s \dots\dots\dots (17)$$

dimana:

$Q_s$  = debit sedimen layang (ton/hari);  
 $q_{bw}$  = debit sedimen merayap (ton/hari)

Besar sedimen total berdasarkan pengukuran di lapangan dapat dihitung menggunakan Persamaan 18 berikut ini (Simon dan Senturk, 1992):

$$SY = \%trapeff (Q_s + q_{bw}) \dots\dots\dots (18)$$

dimana:

$SY$  = debit sedimen total (ton/hari);  
 $\% trap\ eff$  = efisiensi tangkapan (%);  
 $Q_s$  = debit sedimen melayang (ton/hari);  
 $q_{bw}$  = debit sedimen merayap (ton/hari)

Besar sedimen berdasarkan nisbah pelepasan sedimen atau *sediment delivery ratio* (SDR).dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini (Asdak, 1995):

$$SY = (Ea \times SDR) WS \dots\dots\dots (19)$$

dimana:

$SY$  = jumlah sedimen per satuan luas (ton/tahun);  
 $SDR$  = *sediment delivery ratio*;  
 $Ea$  = erosi total (ton/ha/tahun);  
 $WS$  = luas DAS (ha).

**METODE PENELITIAN**

Langkah – langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data primer dan data sekunder
  - a. Data untuk simulasi waduk adalah sebagai berikut: data karakteristik waduk, data *inflow* waduk, data pelepasan air waduk, data pengoperasian waduk. Realisasi penanaman, data hujan, data meteorologi, data kebutuhan air (air irigasi, air baku, air industri, dan PLTA), kurva elevasi-volume tampungan-luas genangan untuk umur waduk 0 tahun, 25 tahun dan 34 tahun serta data lainnya.
  - b. Data untuk analisa sedimen adalah sebagai berikut: peta topografi daerah tangkapan waduk, data hujan, data jenis tanah, data tata guna lahan, data debit sungai, data konsentrasi sedimen melayang, data uji *soil test*, data uji *grain size*, dan data lainnya.
2. Analisa erosi dengan metode USLE dan analisa sedimentasi dengan metode nisbah pelepasan sedimen dan hasil pengukuran lapangan
3. Membuat kurva elevasi-volume tampungan-luas genangan berdasarkan analisa sedimentasi
4. Melakukan simulasi pengoperasian waduk berdasarkan data eksisting menggunakan pola operasi Eksisting, SOP dan *Rule Curve*
5. Analisa kinerja waduk
6. Kinerja pengoperasian pelepasan eksisting dibandingkan dengan kinerja simulasi lainnya (SOP dan *Rule Curve*) untuk mengetahui pola operasi dengan kinerja terbaik.

7. Lalu dilakukan simulasi kembali menggunakan pola operasi dengan kinerja terbaik untuk tahun ke-0, ke-25, ke-34, dan ke-35 agar dapat dilihat kinerja waduk awal pengoperasian sampai sekarang.
8. Analisa kinerja waduk

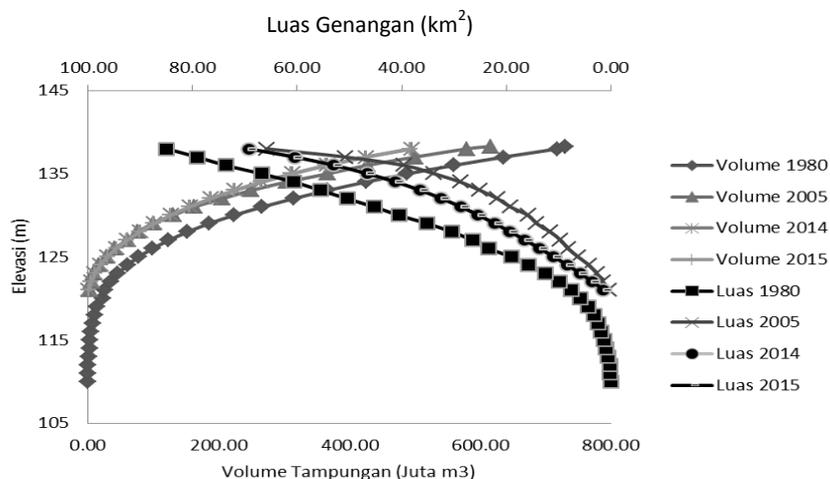
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan analisa erosi dan sedimentasi untuk menentukan kurva elevasi- volume – luas genangan. Untuk menentukan kurva tersebut, diambil nilai hasil sedimen yang terbesar diantara metode pengukuran lapangan dan SDR. Hasil analisa erosi dan sedimentasi dapat dilihat pada Tabel 1.:

Tabel 1. Hasil Analisa Erosi dan Sedimentasi DAS Wonogiri Tahun 2015

No.	Nama Sungai	USLE	Luas Sub-DAS (Km <sup>2</sup> )	SDR (%)	Hasil Pengukuran			Besarnya Sedimen (ton/tahun)	
		Laju Erosi (EA) (ton/th)			Suspended Load (ton/th)	Bed Load (ton/th)	Trap Efficiency (%)	USLE	Total Load (Hasil Pengukuran)
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (1)*(3)	(8) = (6)*((4)+(5))
1	S.Keduang	9.846.755,19	420,98	10	4.464,18	669,63	97	984.675,52	4.979,79
2	S.Tirtomoyo	3.898.521,73	230,65	15	7.974,16	1.196,12	97	584.778,26	8.895,18
3	S.Temon	901.485,26	62,59	25	1.060,07	159,01	97	225.371,31	1.182,51
4	S. Bengawan Solo	7.524.562,20	205,53	20	934,54	140,18	97	1.504.912,44	1.042,47
5	S. Wuryantoro	2.487.710,44	44,12	35	141,48	21,22	97	870.698,65	157,82
Total		24.659.034,82	963,87		14.574,43	2.186,16			16.257,77

Dari kedua metode tersebut didapatkan besar sedimen berdasarkan pengukuran lapangan yaitu 16.257,77 ton/tahun sedangkan metode SDR yaitu sebesar 4.170.436,19 ton/tahun. Besar sedimen hasil pengukuran lebih kecil dari metode SDR karena pengambilan sampel hanya dilakukan pada saat musim kemarau sehingga konsentrasi sedimen layang menjadi kecil. Oleh karenanya, besar sedimen hasil pengukuran lapangan tidak dapat mewakili besar sedimen yang sebenarnya. Dengan kondisi seperti itu, maka nilai yang diambil untuk membuat kurva elevasi-volume–luas genangan 2015 adalah besar sedimen dengan metode SDR (4.170.436,19 ton/tahun) karena nilainya yang besar dan dapat mewakili besar sedimen yang sebenarnya. Berikut ini adalah kurva elevasi volume dari tahun 1980, 2005, 2014 dan 2015 yang digunakan untuk simulasi pengoperasian Waduk Wonogiri.



Gambar 2. Kurva Hubungan Volume Tampung- Luas Genangan – Elevasi

Setelah didapatkan kurva seperti itu, kemudian akan didapatkan suatu persamaan untuk dilakukan simulasi pengoperasian waduk. Simulasi pengoperasian waduk dengan berbagai pola operasi dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan pola operasi terbaik. Pola operasi yang disimulasikan pada laporan ini adalah pola operasi eksisting, SOP dan *rule curve*. Berikut ini adalah hasil simulasi pengoperasian Waduk Wonogiri dengan persamaan kurva tahun 1980 pada berbagai pola operasi:

Tabel 2. Hasil Simulasi Pengoperasian Waduk dengan Persamaan Kurva Tahun 1980 pada Berbagai Pola Operasi

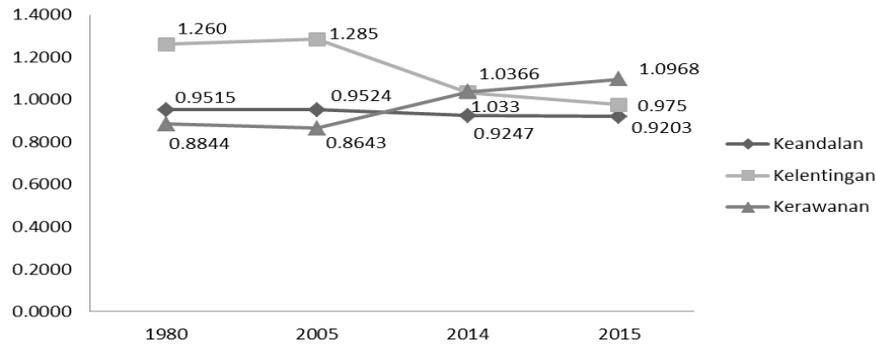
Pola Operasi	Jml bulan operasi	Sukses (Zt)	Gagal (1-Zt)	Keandalan ( $\alpha$ )	Wt	Kelentingan ( $\gamma$ )	DEFt/bln ( $10^6m^3$ )	DEFt Ratio/bln	Rerata DEFt Ratio (V1)	Maks. DEFt Ratio (V2)	Maks. DEFt (V3) ( $10^6m^3$ )
(1)	(2)	(3)	(4)=(2)-(3)	(5)=(3)/(2)	(6)	(7)=(6)/(4)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Eksisting	180	129,337	50,663	0,719	31	0,612	60,99	0,287	1,666	0,99	349,36
SOP	180	171,272	8,728	0,952	11	1,260	12,40	0,054	0,884	1,00	317,09
<i>Rule Curve</i>	180	139,823	40,177	0,777	27	0,672	45,71	0,229	1,525	1,00	332,84

Berdasarkan pada Tabel 2., dapat disimpulkan bahwa pola operasi SOP merupakan pola operasi terbaik dibandingkan pola operasi lainnya. Hal tersebut dapat dilihat dari indikator kinerja keandalan waduk pola SOP memiliki nilai paling tinggi (0,952). Nilai keandalan yang tinggi menunjukkan waduk dapat memenuhi kebutuhan air dari yang diminta. Selanjutnya untuk indikator kelentingan, pola SOP juga memiliki nilai yang tertinggi (1,26). Hal ini menunjukkan dengan pola SOP kemampuan waduk untuk kembali sukses dari kondisi gagal sangat cepat. Dan tingkat kerawanan pola SOP sangat kecil yaitu 0,884 dari kebutuhan air yang tidak dapat terpenuhi.

Simulasi pengoperasian waduk dengan berbagai kondisi sedimentasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sedimentasi terhadap kinerja Waduk. Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan pola operasi terbaik dan kondisi sedimentasi yang ditinjau adalah pada tahun 1980, tahun 2005, tahun 2014, dan 2015. Berikut adalah hasil simulasi pengoperasian waduk dengan berbagai kondisi sedimentasi:

Tabel 3. Hasil Simulasi Pengoperasian Waduk dengan Berbagai Kondisi Sedimentasi Menggunakan Pola Operasi Terbaik

Pola Operasi	Jml bulan operasi	Sukses (Zt)	Gagal (1-Zt)	Keandalan ( $\alpha$ )	Wt	Kelentingan ( $\gamma$ )	DEFt/bln ( $10^6m^3$ )	DEFt Ratio/bln	Rerata DEFt Ratio (V1)	Maks. DEFt Ratio (V2)	Maks. DEFt (V3) ( $10^6m^3$ )
(1)	(2)	(3)	(4)=(2)-(3)	(5)=(3)/(2)	(6)	(7)=(6)/(4)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
SOP 1980	180	171,272	8,728	0,9525	11	1,260	12,40	0,054	0,884	1,00	317,09
SOP 2005	180	171,436	8,564	0,9524	11	1,285	12,52	0,053	0,864	0,94	315,25
SOP 2014	180	166,453	13,547	0,9247	14	1,033	19,67	0,081	1,037	0,97	326,17
SOP 2015	180	165,645	14,355	0,9203	14	0,975	20,49	0,085	1,097	1,00	315,06



Gambar 3. Indikator Kinerja Waduk pada Berbagai Kondisi Sedimentasi

Berdasarkan pada Tabel 3. dan Gambar 3. menunjukkan bahwa dari tahun 1980 hingga tahun 2015 hampir seluruh indikator mengalami penurunan kinerja. Indikator keandalan dikatakan mengalami penurunan jika nilai keandalan dari tahun ke tahun nilainya menjadi lebih kecil. Besar pengaruh sedimentasi tahun 2005 terhadap keandalan awal operasi (tahun 1980) adalah -0,096%, untuk kondisi tahun 2014 sebesar -2,814%, dan kondisi sedimen pada tahun 2015 mengalami penurunan 3,285%.

Sama halnya dengan nilai keandalan, indikator kelentingan dikatakan mengalami penurunan jika dari tahun ke tahun nilainya menjadi lebih kecil. Besar pengaruh sedimentasi pada tahun 2005 terhadap kelentingan awal operasi (tahun 1980) adalah -1,92%, untuk kondisi tahun 2014 sebesar -18,003%, dan kondisi sedimen pada tahun 2015 mengalami penurunan 22,617%.

Sedangkan indikator kerawanan dikatakan mengalami penurunan jika dari tahun ke tahun nilai yang terjadi semakin besar. Besar pengaruh sedimentasi pada tahun 2005 terhadap kerawanan awal operasi (tahun 1980) adalah +2,274%, untuk kondisi tahun 2014 sebesar +17,212%, dan kondisi sedimen pada tahun 2015 mengalami peningkatan 24,02%.

**KESIMPULAN**

Besar sedimen yang terendap dalam Waduk Wonogiri yang berasal dari Sungai Keduang, Sungai Tirtomoyo, Sungai Temon, Sungai Bengawan Solo dan Sungai Wuryantoro adalah 4.170.436,19 ton/tahun. Hasil simulasi pengoperasian waduk dengan berbagai pola operasi dan sedimentasi menunjukkan berpengaruh atau tidaknya sedimentasi terhadap kinerja waduk. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pola operasi terbaik untuk Waduk Wonogiri adalah pola operasi baku (SOP) dan besar pengaruh sedimentasi waduk serbaguna terhadap kinerja waduk cukup kecil yaitu kurang dari 25% terhadap kinerja awal operasi waduk. Walaupun pengaruh sedimentasi kecil, upaya pengendalian sedimentasi tetap diperlukan karena sedimentasi akan terus ada.

**SARAN**

Pada penelitian ini sebaiknya saat pengambilan sampel dilakukan pada saat musim hujan untuk menghasilkan data yang lebih akurat. Pihak pengelola Waduk Wonogiri dapat mengubah pola operasi yang selama ini dilakukan dengan pola operasi SOP agar didapat nilai keandalan yang besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, Sitanala, 2010. *Konservasi Tanah dan Air*, IPB Press, Bogor.
- Asdak, Chay, 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- BBWS Bengawan Solo. 2008. *Rencana Operasi Waduk Wonogiri Masa Tanam Tahun 2008 – 2009*, Sekretariat Bersama Tata Pengaturan Air Wilayah Sungai Bengawan Solo, Surakarta.
- Daniel Rohi, M. Bisri, Seoemarno, A. Lomi, 2015. The Impact of Sedimentation in Reservoirs on Performance Operation of Hydropower: A Case Study Sutami Hydropower Indonesia. *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online : [www.ijsr.net](http://www.ijsr.net))*, Volume 4 Issue 1, January 2015, pp 2319-7064.
- Mc. Mahon, et.al., 1978. *Reservoir Capacity and Yield*, Elsevier, Amsterdam.
- Mulyanto, HR. 2008. *Efek Konservasi dari Sistem Sabo untuk Pengendalian Sedimentasi Waduk*, Graha Ilmu, Yogyakarta, Indonesia.
- Simon, D.B. and Senturk, F., 1992. *Sediment Transport Technology : Water and Sediment Dynamics*, Water Resources Publications, USA.
- Suharyanto, 1997, *Analisis Unjuk Kerja Pengoperasian Waduk*, Media Komunikasi Teknik Sipil, Edisi VIII-1997
- Yang, C.T., 1996, *Sediment Transport : Theory and Practice*, McGraw-Hill, Singapore.