

# EFEKTIFITAS KEGIATAN Pengerukan SEDIMEN WADUK WONOGIRI DITINJAU DARI NILAI EKONOMI

Irene Dhian Andriawati<sup>1</sup>, Rispiningtati<sup>2</sup>, Pitojo Tri Juwono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Magister Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia; irenedhian@yahoo.co.id

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang.

**ABSTRAK:** Sebagai waduk serbaguna membuat Waduk Wonogiri mengalami berbagai permasalahan selama beroperasi, permasalahan paling utama adalah sedimentasi. Karena itu perlu upaya penanganan sedimen yang tepat, salah satunya dengan melakukan pengerukan rutin setiap tahunnya. Pada studi ini dibuat 4 simulasi alternatif waktu pengerukan sedimen dan penambahan kapal keruk, selanjutnya ditentukan alternatif yang paling efektif dengan memperhitungkan usia guna serta nilai ekonominya. Berdasarkan perhitungan analisis sedimentasi, analisis ekonomi, dan analisis efektifitas didapatkan hasil bahwa alternatif yang paling layak dilaksanakan adalah alternatif 4, namun karena dari sudut pandang pengelola waduk tidak menguntungkan, sehingga yang direkomendasikan adalah alternatif 3, selain dapat meningkatkan usia guna waduk hingga 14,74%, alternatif 3 juga 10,57% lebih efektif secara ekonomi daripada alternatif 1, dengan nilai B-C adalah Rp. 6.608.820.242.046,-, nilai B/C adalah 2,79, nilai IRR adalah 13,23%, dan nilai B-C dari 5 tahun penambahan usia guna waduk adalah Rp. 1.214.080.491.633,-.

Kata Kunci: sedimentasi waduk, pengerukan sedimen, analisis ekonomi, analisis efektifitas, Waduk Wonogiri

**ABSTRACT:** As a multipurpose dam makes Wonogiri experiencing various problems during operation, the main problem is sedimentation. Therefore the properly sediment handling is necessary, one of them by doing routine dredging annually. In this study had four alternatives simulation time dredging sediment and dredger addition, further determined that the most effective alternative based on useful life and its economic value. Based on the calculation of sedimentation analysis, economic analysis, and the effectiveness analysis showed that the most feasible alternative is alternative 4, but because it is not profitable for the management of reservoirs, so the recommended alternative is 3, in addition to increasing the useful life of reservoir up to 14.74%, alternative 3 is also more effective economically 10.57% than alternative 1, with the B-C value is Rp. 6.608.820.242.046,-, B/C ratio is 2.79, IRR value is 13.23%, and the B-C value for increased the useful life of reservoir for 5 years is Rp. 1.214.080.491.633,-.

*Keywords :* reservoir sedimentation, sedimentation dredging, economic analysis, effectiveness analysis, Wonogiri Reservoir

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini telah begitu banyak bendungan yang dibangun di Indonesia, dan seiring dengan berjalannya waktu permasalahan muncul dan harus segera ditangani karena mengakibatkan turunya manfaat dari pengoperasian waduk. Permasalahan itu diantaranya adalah sedimentasi, yang mengancam usia gunanya. Salah satu waduk yang mengalami penurunan usia guna akibat adanya sedimentasi adalah Waduk Serbaguna Wonogiri. Fungsinya sebagai waduk serbaguna membuat Waduk

Wonogiri telah mengalami berbagai permasalahan selama beroperasi, permasalahan yang paling utama adalah terjadinya pendangkalan waduk yang diakibatkan oleh sedimentasi. Oleh karena begitu besarnya sedimentasi waduk yang terjadi maka dibuat berbagai rencana penanganan sedimen baik secara teknis maupun non teknis, salah satu upaya teknis yang dilakukan adalah dengan pengerukan sedimen setiap tahunnya, oleh karena itu perlu adanya kajian dalam perencanaan pengerukan

sedimen yang dilakukan, agar dapat memberikan hasil penanganan sedimen yang efektif, mampu meningkatkan usia guna, dan memiliki nilai ekonomis yang baik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi sedimentasi Waduk Wonogiri, dan mengetahui simulasi alternatif terbaik serta efektifitas kegiatan pengerukan sedimen di Waduk Serbaguna Wonogiri ditinjau dari usia guna waduk dan nilai ekonominya.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat memberikan gambaran kepada stakeholder terkait mengenai beberapa simulasi alternatif waktu pengerukan sedimen dan penambahan kapal keruk (dredger) yang paling efektif, sehingga diharapkan dalam penerapannya dapat menggunakan alternatif yang terbaik.

## 2. BAHAN DAN METODE

Waduk Wonogiri merupakan waduk terbesar yang pernah dibangun pada DAS Bengawan Solo, yaitu dengan luas *catchment area* 1.350 km<sup>2</sup>. Waduk Wonogiri terletak 3 km di selatan Kota Kabupaten Wonogiri. Pembangunan Waduk Wonogiri dimulai sejak tahun 1976 dan selesai sekitar tahun 1981.

### A. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peta lokasi studi, peta sebaran sedimen, peta *echo sounding*
2. Data teknis Waduk Wonogiri, data inflow, data outflow, data *echo sounding* waduk, data penanganan sedimen, data spesifikasi kapal keruk, data biaya penanganan sedimen
3. Data pemanfaatan air waduk (data pengendalian banjir, data produksi listrik Waduk Wonogiri, data produksi pertanian D.I Colo)
4. Data tarif Biaya Jasa Pengelolaan Sumberdaya Air (BJPSDA)

### B. Metodologi

#### a) Sedimentasi

Sedimentasi adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau

jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, sungai dan waduk.

Hasil sedimen (*sediment yield*) adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. Hasil sedimen biasanya diperoleh dari pengukuran sedimen terlarut pada sungai atau dengan pengukuran langsung di dalam waduk.

Berdasarkan jurnal yang ditulis oleh Xiaoqing Yang dkk, yang berjudul *The Sedimentation and Dredging of Guanting Reservoir* (2003), mengatakan sedimentasi waduk dapat berdampak serius pada pasokan air dan pengendalian banjir, oleh karena itu sedimentasi waduk harus diatur dan dikendalikan. Pengerukan dianggap sebagai penanganan utama untuk memperbaiki situasi tersebut, beberapa analisis juga diperlukan agar pengerukan lebih efektif dan ekonomis.

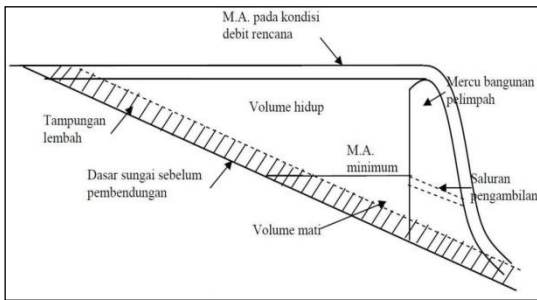
#### b) Waduk

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 37 tahun 2010, waduk adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan (Anonim, 2010). Pembangunan bendungan dan pengelolaan bendungan beserta waduknya bertujuan untuk meningkatkan kemanfaatan fungsi sumber daya air, konservasi air, pengendalian daya rusak air, dan fungsi pengamanan tampungan limbahtambang (*tailing*) atau tampungan lumpur.

Bendungan dan waduk dapat dimanfaatkan antara lain sebagai irigasi, PLTA, dan penyedia air baku.

Karakteristik waduk diantaranya adalah data fisik waduk, data outlet dari waduk, data elevasi maksimum pengoperasian, data tampungan mati dan tampungan efektif dan data hubungan antara elevasi luas dan volume dari waduk. Volume mati bersama-sama dengan volume hidup, tinggi muka air minimum, tinggi mercu pelimpah, dan tinggi muka air maksimum merupakan bagian-bagian pokok karakter fisik suatu waduk yang akan membentuk zona-zona volume suatu

waduk seperti yang terlihat pada gambar berikut:



**Gambar 1. Karakteristik waduk**

Usia guna waduk adalah masa manfaat waduk dalam menjalankan fungsinya, sampai terisi penuh oleh sedimen kapasitas tampungan matinya. Ada dua cara untuk memprediksikan usia guna waduk, yaitu:

- Perkiraan usia guna berdasarkan kapasitas tampungan mati (dead storage)
- Perkiraan usia guna berdasarkan besarnya distribusi sedimen yang mengendap di tampungan dengan menggunakan *The Empirical Area Reduction Method*

**Trap Efficiency Waduk**

Metode Brune digunakan untuk mengetahui seberapa besar sedimen yang tertangkap di Waduk Wonogiri. Metode perhitungan *trap efficiency* dengan menggunakan Metode Brune dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan nomogram dan numeris. Pada penelitian ini akan digunakan perhitungan *trap efficiency* secara numeris dengan persamaan:

$$Y = 100(1 - \frac{1}{1 + ax})^n$$

Dengan :

Y = efektifitas tampungan

x = perbandingan kapasitas waduk dengan debit masukan

a = konstanta

a = 100, untuk rata-rata

a = 65, untuk minimum

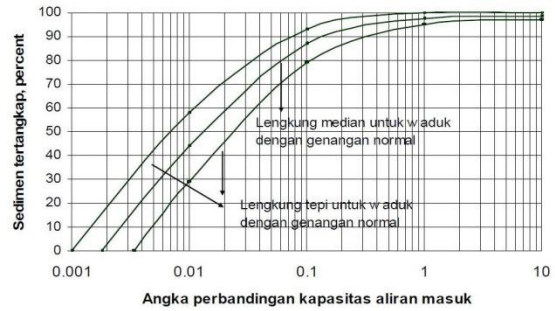
a = 130, untuk selubung

n = konstanta

n = 1,5, untuk rata-rata

n = 2,0, untuk minimum

n = 1,0, untuk selubung



**Gambar 2. Grafik Hubungan Capacity – Inflow Ratio**

Sumber: Brune, 1953

**Berat Jenis Butiran Sedimen**

Untuk mengestimasi berat jenis, Lara-Pemberton dalam Gregory L. Morris dan Jiahua Fan (1997) mengklasifikasikan pola operasi waduk menjadi 4 kategori, yaitu: (1) Sedimen selalu terendam atau hampir terendam, (2) Umumnya *drawdown* waduk sedang sampai besar, (3) Waduk umumnya kosong, (4) Sedimen dasar sungai. Komposisi sedimen harus terdiri dari *clay*, *silt* dan *sand*.

Rumus Lara-Pemberton yang digunakan dalam menghitung berat jenis butiran sedimen adalah:

$$W = W_C P_C + W_M P_M + W_S P_S$$

Dengan:

W = Berat jenis sedimen

W<sub>C</sub> = Berat jenis clay

W<sub>M</sub> = Berat jenis silt

W<sub>S</sub> = Berat jenis sand

P<sub>C</sub> = Prosentase clay

P<sub>M</sub> = Prosentase silt

P<sub>S</sub> = Prosentase sand

Tabel 1. Nilai Koefisien untuk Rumus Lara-Pemberton

Operasi Waduk	Berat jenis(kg/m <sup>3</sup> )		
	W <sub>C</sub>	W <sub>M</sub>	W <sub>S</sub>
Sedimen selalu terendam atau hampir terendam	416	1120	1150
Umumnya <i>drawdown</i> waduk sedang sampai besar	561	1140	1150
Waduk umumnya kosong	641	1150	1150
Sedimen dasar sungai	961	1170	1550

Sumber: *Reservoir Sedimentation Handbook* (Gregory L. Morris dan Jiahua Fan, 1997)

Lane dan Koelzer dalam Gregory L. Morris dan Jiahua Fan (1997) menjelaskan rumus empiris untuk hubungan waktu dan berat jenis dengan menggunakan data grain size sedimen dan metode pola operasi waduk. Rumus yang digunakan untuk menghitung berat jenis sedimen yang masuk pada akhir operasi waduk atau pada tahun tertentu adalah sebagai berikut:

$$W_t = W_1 + B \log t$$

Dengan:

$W_t$  = Berat jenis sedimen pada tahun ke- $t$

$W_1$  = Berat jenis

$B$  = Koefisien

$T$  = Waktu operasi waduk

Untuk sedimen yang terdiri lebih dari satu jenis ukuran butiran, maka koefisien  $B$  dapat dihitung dengan menggunakan tabel 2.

Tabel 2. Nilai Koefisien untuk Perhitungan Gabungan

Operasi Waduk	B (kg/m <sup>3</sup> )		
	Sand	Silt	Clay
Sedimen selalu terendam atau hampir terendam	0	91	256
Umumnya draw down waduk sedang sampai besar	0	29	135
Waduk umumnya kosong	0	0	0

Sumber: *Reservoir Sedimentation Handbook* (Gregory L. Morris dan Jiahua Fan, 1998)

**c) Pengerukan (Dredging)**

Pengerukan adalah pekerjaan perbaikan sungai terutama dalam masalah penggalan sedimen dibawah permukaan air dan dapat dilaksanakan baik dengan tenaga manusia maupun dengan alat berat. Kecuali pada hal-hal khusus, pengerukan biasanya dilakukan dengan menggunakan kapal keruk. Terdapat beberapa tipe kapal keruk antara lain:

1. Tipe Pompa
2. Tipe Ember (bucket type)
3. Tipe Ember Cengkeram (grab type)
4. Tipe Cengkeram (dipper type)

Penggunaan dari tipe-tipe kapal keruk tersebut tergantung dari:

1. Volume endapan yang dikeruk

2. Daerah atau lokasi yang terdapat endapan sedimen
3. Kedalaman air
4. Karakteristik endapan
5. Tempat pembuangan endapan (disposal area)
6. Sumber tenaga penggerak.

**d) Manfaat Ekonomi Air**

Dengan dibangunnya suatu bendungan serbaguna maka manfaat yang dapat diperoleh adalah meningkatnya daya manfaat air yang ditampung oleh waduk dan menurunnya daya rusak air karena adanya debit besar.

Pada penelitian ini manfaat yang dihitung yaitu manfaat listrik PLTA, irigasi, dan pengendalian banjir.

**Analisis Ekonomi**

Menurut Kodoatie (1995), analisis ekonomi teknik pada suatu proyek pembangunan mengarahkan pada perencana dalam menentukan pemilihan terbaik dari beberapa alternatif hasil perencanaan yang dipilih. Penentuan alternatif mempunyai bentuk yang bermacam-macam. Alternatif ini bisa berupa perbandingan biaya dari beberapa pilihan yang direkomendasi, dapat pula analisis ekonomi melibatkan unsur resiko yang mungkin terjadi. Disamping itu, selain membandingkan dengan berbagai macam biaya, analisis ekonomi juga dikembangkan berdasarkan asas manfaat dari proyek yang bersangkutan.

**Metode Analisis Ekonomi**

Tiga parameter yang sering dipakai dalam analisis manfaat dan biaya, antara lain adalah:

- Perbandingan Manfaat dan Biaya (*Benefit/Cost* atau B/C)
- Selisih Manfaat dan Biaya (*Net Benefit* atau B-C)
- Tingkat Pengembalian (*Rate of Return* atau RR)

**Perbandingan Manfaat dan Biaya (Benefit/Cost atau B/C)**

Parameter yang sering berlaku di lapangan adalah perbandingan manfaat biaya (B/C). Apabila nilai B/C > 1 maka proyek dikatakan menguntungkan dan sebaliknya jika nilai

$B/C < 1$  proyek tersebut secara ekonomi dianggap tidak menguntungkan.

### Selisih Manfaat dan Biaya (*Net Benefit* atau *B-C*)

Pada perhitungan *B-C* tidak ada pengaruh dengan mengurangi biaya *O&P* dari total biaya proyek karena hasilnya akan sama. Yang mempengaruhi adalah tingkat suku bunga yang berlaku. Makin tinggi tingkat suku bunga maka selisih manfaat dan biaya akan semakin kecil.

### Tingkat Pengembalian (*Rate of Return* atau *RR*)

Parameter *RR* ini tidak terpengaruh dengan bunga komersil yang berlaku sehingga *RR* ini sering disebut dengan istilah *Internal Rate of Return* (*IRR*). Bila besarnya *RR* sama dengan besarnya bunga komersil yang berlaku maka proyek dikatakan impas, namun bila lebih besar dikatakan proyek ini menguntungkan.

### e) Alur Pikir Studi

Alur pikir dalam studi ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data sekunder dan studi terdahulu
2. Perhitungan analisis kondisi sedimentasi di Waduk Wonogiri saat ini
3. Perencanaan simulasi alternatif waktu pengerukan/*dredging* sedimen yang masuk ke Waduk Wonogiri dan simulasi alternatif penambahan kapal keruk (*dredger*)
4. Perhitungan biaya kegiatan pengerukan/*dredging* sedimen yang masuk ke Waduk Wonogiri
5. Perhitungan manfaat *PLTA*, irigasi, dan pengendalian banjir dengan adanya penambahan usia guna waduk yang diperoleh dari kegiatan pengerukan sedimen
6. Perhitungan analisis ekonomi kegiatan pengerukan/*dredging* sedimen yang masuk ke Waduk Wonogiri
7. Perhitungan efektifitas rencana kegiatan pengerukan/*dredging* sedimen yang masuk ke Waduk Wonogiri.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

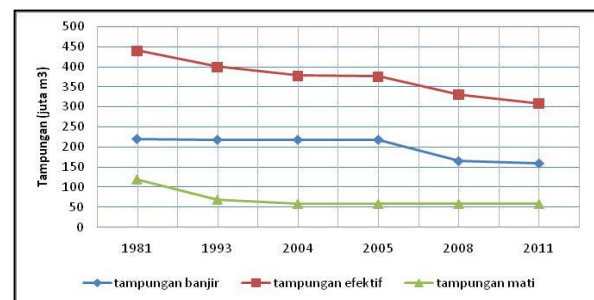
### a) Analisis Sedimentasi Waduk Wonogiri

Dari data pengukuran *echo sounding* yang dilakukan oleh Perum Jasa Tirta I, diperoleh data kondisi tampungan Waduk Wonogiri sejak awal operasi hingga saat ini ditampilkan pada tabel 3 dan perubahan kapasitas tampungan waduk diilustrasikan pada gambar 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Perubahan Kapasitas Tampungan Waduk Wonogiri

Zona Tampungan		Kapasitas Tampungan Waduk					
		1981	1993	2004	2005	2008	2011
Tampungan Banjir (El. 135,3 - 138,3 m)	Volume ( $10^6 \text{ m}^3$ )	220	218	218	218	165	159
	%	100.00	99.09	99.09	99.09	75.06	72.45
Tampungan Efektif (El. 127,0 - 136,0 m)	Volume ( $10^6 \text{ m}^3$ )	440	399	377	375	330	307
	%	100.00	90.68	85.68	85.23	74.95	69.89
Tampungan Mati ( $< \text{El. } 127,0 \text{ m}$ )	Volume ( $10^6 \text{ m}^3$ )	120	69	58	58	58	58
	%	100.00	57.50	48.33	48.33	48.49	48.29
Tampungan Kotor	Volume ( $10^6 \text{ m}^3$ )	560	468	435	433	388	365
	%	100.00	83.57	77.68	77.32	69.28	65.26

Sumber: Data *Echo Sounding* Perum Jasa Tirta I, Darjanta Budihardja (2009), dan *JICA Study Team* (2007)



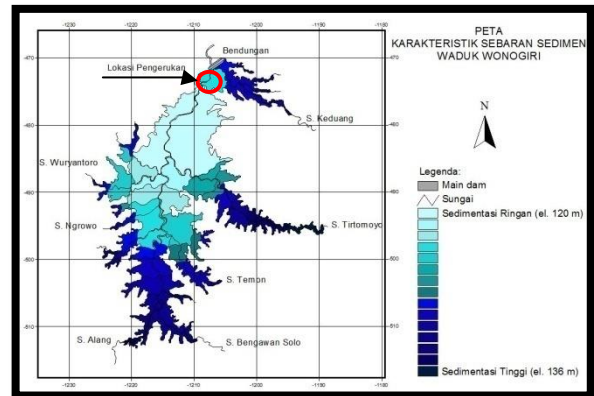
Gambar 3. Perubahan Kapasitas Tampungan Waduk Wonogiri

Dengan mengetahui kondisi tampungan waduk yang tertera pada tabel 3 maka dapat dilakukan pengolahan data dan perhitungan sedimentasi yang terjadi pada Waduk Wonogiri.

Berdasarkan data *echosounding* tahun 2008 dan tahun 2011, diketahui bahwa sedimentasi Waduk Wonogiri tersebar pada beberapa titik pengukuran, dan volume endapan sedimenterbesarberada di Sungai Bengawan Solo, yaitu sebesar 85,78%, tepatnya sekitar pintu intake yang menjadi lokasi pengerukan, yaitu antara titik 1L-1R sampai titik 6L-6R. Selain itu pada Sungai

Tirtomoyo juga terdapat endapan sedimen yang cukup besar yaitu pada titik T2L-T2R sampai titik T6L-T6R sebesar 7,12%.

Pada gambar 5 terlihat bahwa pada hulu Waduk Wonogiri sedimentasi sudah cukup tinggi, karena elevasi sedimentasi lebih dari +127 m atau dapat diartikan bahwa tampungan mati sudah penuh, sedangkan di lokasi pengerukan sedimentasi tergolong sedang dengan elevasi rata-rata +124 m. Pada Sungai Bengawan Solo tepatnya titik 2L-2R sampai 5L-5R sedimentasi masih ringan, karena meskipun volume endapan sedimennya paling besar namun karena luas penampangnya paling luas sehingga elevasi sedimentasi masih rendah, yaitu sekitar elevasi +120 m.



**Gambar 5. Peta Karakteristik Sebaran Sedimen Waduk Wonogiri**

**b) Analisis Trap Efficiency Waduk Wonogiri**

Data inflow Waduk Wonogiri tahun 1993, 2004, 2005, 2008, dan 2011 digunakan dalam melakukan perhitungan *trap efficiency*. Untuk konstanta *a* dan *n* digunakan nilai dari Brune Medium Curve, yaitu  $a = 100$  dan  $n = 1,5$ .

Tabel 4. Perhitungan *Trap Efficiency* Waduk Wonogiri

Tahun	1993	2004	2005	2008	2011
<i>a</i>	100	100	100	100	100
<i>n</i>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Tampungan Waduk (juta m3)	468	435	433	388	365
Inflow Tahunan (juta m3)	1033.90	1006.66	1000.02	1415.67	1853.01
<i>x</i>	0.45	0.43	0.43	0.27	0.20
Trap Efficiency (%)	96.78	96.63	96.63	94.77	92.85

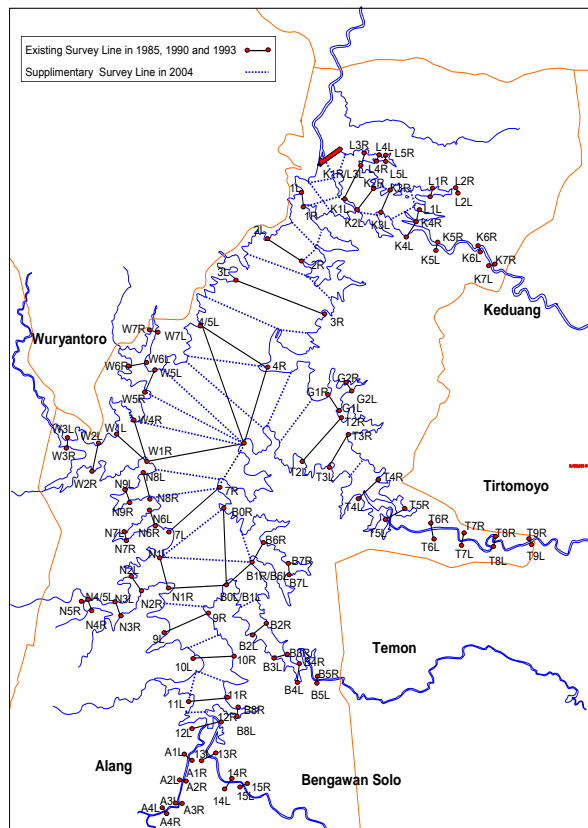
Sumber : Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan *trap efficiency* pada tabel 4, terlihat bahwa dari tahun 1993 hingga 2011 nilai *trap efficiency* Waduk Wonogiri terus menurun, hal ini dikarenakan semakin berkurangnya kapasitas tampungan waduk untuk menampung sedimen, namun meskipun demikian nilai *trap efficiency* Waduk Wonogiri masih tergolong cukup tinggi karena tampungan waduk yang besar.

**c) Distribusi Ukuran Butiran Sedimen Waduk Wonogiri**

Dari hasil *Grain Size Analysis* diperoleh pembagian butir sedimen di Waduk Wonogiri antara lain:

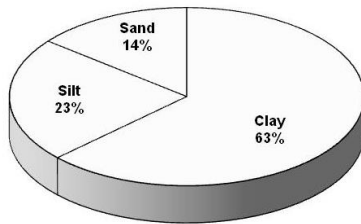
- a. Berbutir halus/clay : 62,81% ≈ 63%
- b. Berbutir sedang/silt : 22,68% ≈ 23%



**Gambar 4. Peta Lokasi Cross Section Pengukuran Sedimen Waduk Wonogiri**

Sumber: JICA Study Team

- c. Berbutir kasar/sand : 14,26% ≈ 14%
- d. Gravel : 0,25% ≈ 0%



**Gambar 6. Prosentase Komposisi Sedimen Waduk Wonogiri**

Dengan menggunakan Rumus Lara-Pemberton, maka berat jenis butiran sedimen yang masuk ke dalam Waduk Wonogiri dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= W_C \times P_C + W_M \times P_M + W_S \times P_S \\
 &= 416 \times 0,63 + 1120 \times 0,23 + 1150 \times 0,14 \\
 &= 679,32 \text{ kg/m}^3 \\
 B &= B_C \times P_C + B_M \times P_M + B_S \times P_S \\
 &= 256 \times 0,63 + 91 \times 0,23 + 0 \times 0,14 \\
 &= 181,43 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk mengetahui berat jenis sedimen setelah 29 tahun waduk beroperasi yaitu:

$$\begin{aligned}
 W_{29} &= W_I + 0,4343 \times B \times \left[ \frac{t}{t-1} (\ln t) - 1 \right] \\
 &= 679,32 + 0,4343 \times 181,43 \times \left[ \frac{29}{29-1} (\ln 29) - 1 \right] \\
 &= 875,32 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka dapat diasumsikan bahwa akumulasi sedimen yang masuk pada Waduk Wonogiri setiap tahunnya hingga akhir operasi waduk mengalami kenaikan berat jenis butiran rata-rata sekitar 6,76kg/m<sup>3</sup>.

**d) Penanganan Sedimen Waduk Wonogiri**

Volume pengerukan sedimen Waduk Wonogiri yang sudah dilakukan dari tahun 2007 hingga saat ini dapat dilihat pada tabel 5. Tabel 5. Volume Pengerukan Sedimen Waduk Wonogiri

No.	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Volume Kumulatif	Rerata Pengerukan
1	Tahun 2007	m <sup>3</sup>	29,774	29,774	92,647
2	Tahun 2008	m <sup>3</sup>	20,382	50,156	
3	Tahun 2009	m <sup>3</sup>	150,728	200,884	
4	Tahun 2010	m <sup>3</sup>	150,000	350,884	
5	Tahun 2011	m <sup>3</sup>	100,291	451,175	
6	Tahun 2012	m <sup>3</sup>	90,000	541,175	
7	Tahun 2013	m <sup>3</sup>	100,000	641,175	
8	Tahun 2014	m <sup>3</sup>	100,000	741,175	

Sumber : Perum Jasa Tirta I

**e) Analisis Penanganan Sedimen Saat Ini**  
**Tabel 6. Rerata Sedimen Waduk Wonogiri**

Zona Tampungan		Kapasitas Tampungan Waduk		Rerata Sedimen
		1981	2011	
Tampungan Banjir (El. 135,3 - 138,3 m)	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	220	159	2.02
Tampungan Efektif (El. 127,0 - 136,0 m)	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	440	307	4.42
Tampungan Mati (< El. 127,0 m)	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	120	58	2.07
Tampungan Kotor	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	560	365	6.49

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan perhitungan data di atas, maka diketahui bahwa rerata sedimen yang mengendap ke Waduk Wonogiri setiap tahunnya adalah sekitar 6,49 juta m<sup>3</sup>, sedangkan rerata penanganan sedimen yang dilakukan dengan pengerukan setiap tahunnya adalah 0,09 juta m<sup>3</sup>. Dari data tersebut maka terlihat bahwa penanganan sedimen yang telah dilakukan saat ini masih belum dapat mengimbangi laju sedimen yang ada, namun karena tampungan waduk yang cukup besar, sehingga Waduk Wonogiri masih memiliki nilai *trap efisiensi* yang cukup tinggi, yaitu 92,85%.

Tujuan dari pengerukan sedimen di Waduk Wonogiri adalah untuk melindungi intake dari sedimen, sehingga pengerukan hanya difokuskan di daerah sekitar intake, karena apabila pengerukan tidak dilakukan di sekitar intake maka fungsi waduk akan berkurang, dan usia guna waduk hingga intake tidak dapat dimanfaatkan lagi adalah sekitar 29 tahun lagi. Rerata sedimentasi yang mengendap di sekitar intake setiap tahunnya adalah ± 690.000 m<sup>3</sup>, dan rerata pengerukan yang dilakukan setiap tahunnya hanya 92,647 m<sup>3</sup>.

Perhitungan usia guna waduk dilakukan dengan menggunakan pendekatan volume. Berikut adalah perhitungan usia guna waduk sampai tampungan mati penuh dan pintu intake tidak dapat dimanfaatkan lagi.

- Vol Tamp. Mati (2011) = 58 juta m<sup>3</sup>
- Vol Tamp. Mati (1981) = 120 juta m<sup>3</sup>
- Rerata Vol Pengerukan = 0,09 juta m<sup>3</sup>/tahun
- Periode n, 1981 – 2011 = 30 tahun
- Vol Sedimen Periode n = 62 juta m<sup>3</sup>

- Rerata Sedimentasi = 2,07 juta m<sup>3</sup>/tahun
- Sedimen setelah dikeruk = 1,98 juta m<sup>3</sup>/tahun
- Usia Guna Waduk = 29 tahun

**f) Analisis Simulasi Alternatif Waktu Pengerukan Sedimen dan Penambahan Kapal Keruk (Dredger)**

Simulasi alternatif waktu pengerukan sedimen dan penambahan kapal keruk (*dredger*) dibagi menjadi 4 (empat) alternatif seperti ditampilkan pada tabel 7, dengan beberapa syarat batas yang telah ditetapkan, diantaranya pengerukan sedimen dengan menggunakan *Cutter Suction Dredger*, pengerukan difokuskan pada daerah sekitar intake, pengerukan dapat dilaksanakan pada elevasi waduk rata-rata +129 m sampai +132 m, dan sedimen hasilpengerukan dibuang ke lokasi *spoil bank* yang berada di sekitar lokasi pengerukan.

Tabel 7. Alternatif Penanganan Sedimen pada Waduk Wonogiri

Alt	Rencana Pengerukan			Rencana Pembuangan		Biaya
	Waktu	Jumlah Kapal Keruk	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume Spoil Bank Eksisting (m <sup>3</sup> )	Volume Spoil Bank Baru (m <sup>3</sup> )	
1	4 bulan	1 buah	100,000	100,000	-	Biaya pengerukan + spoil bank eksisting
2	6 bulan	1 buah	151,200	151,200	-	Biaya pengerukan + spoil bank eksisting
3	4 bulan	2 buah	352,800	175,000	177,800	Biaya pengerukan + spoil bank eksisting + spoil bank baru + penambahan kapal keruk
4	6 bulan	2 buah	529,200	175,000	354,200	Biaya pengerukan + spoil bank eksisting + spoil bank baru + penambahan kapal keruk

Sumber: Hasil Perhitungan

Dengan berbagai alternatif yang telah ditentukan maka dapat disimulasikan usia guna waduk dari setiap alternatif seperti yang ditampilkan pada tabel 8.

Tabel 8. Kondisi Waduk Wonogiri Pada Berbagai Simulasi Alternatif

Keterangan		Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4
Vol tamp. Mati 2011	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	58	58	58	58
Rerata laju sedimen	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /thn	2.07	2.07	2.07	2.07
Pengerukan	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /thn	0.10	0.15	0.35	0.53
Sedimen setelah dikeruk	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /thn	1.97	1.92	1.72	1.54
Usia guna waduk	tahun	29	30	34	38

Sumber: Hasil Perhitungan

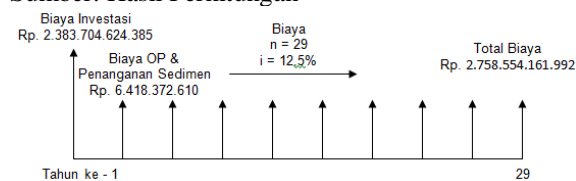
**g) Analisis Biaya Penanganan Sedimen Waduk Wonogiri**

Penentuan analisa harga satuan berdasarkan Permen PU Nomor 11/PRT/M/2013 Tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum (Anonim, 2013).

Tabel 9. Harga Satuan Rencana Pekerjaan Pengerukan Waduk Wonogiri

Kegiatan	Sat.	Waktu Kegiatan	
		4 bulan	6 bulan
Pengerukan dredger eksisting	Rp/m <sup>3</sup>	30,500	25,900
Pengerukan dredger baru	Rp/m <sup>3</sup>	17,700	14,000
Spoilbank eksisting	Rp/m <sup>3</sup>	14,500	12,600
Spoilbank baru	Rp/m <sup>3</sup>	18,200	15,700

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 7. Diagram Present Value Biaya Penanganan Sedimen Alternatif 1

Hasil perhitungan biaya kegiatan pengerukan untuk seluruh alternatif ditampilkan pada tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi Biaya Pengerukan Sedimen Waduk Wonogiri

Uraian Biaya	Biaya Kegiatan Pengerukan (juta Rp)			
	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
Pembangunan	2,376,828	2,376,828	2,376,828	2,376,828
O&P Waduk	2,377	2,377	2,377	2,377
Pengerukan	3,050	3,916	7,535	9,208
Spoil Bank Eksisting	1,450	1,905	2,538	2,205
Pembuatan Spoil Bank Baru	-	-	4,658	8,395
Investasi dredger	-	-	14,500	14,500
Jumlah	2,383,705	2,385,026	2,408,436	2,413,513

Sumber: Hasil Perhitungan

**h) Analisis Manfaat Ekonomis Air Waduk**

Tabel 11. Rekapitulasi Manfaat Ekonomi Pengerukan Waduk Wonogiri

Uraian Manfaat	Manfaat Kegiatan Pengerukan (juta Rp)			
	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4
PLTA	9,472	9,472	9,472	9,472
Irigasi	305,650	305,650	305,650	305,650
Pengendali Banjir	35,865	35,865	35,865	35,865
Jumlah	350,987	350,987	350,987	350,987

Sumber: Hasil Perhitungan

Selanjutnya nilai manfaat tersebut dikaitkan dengan penambahan usia guna

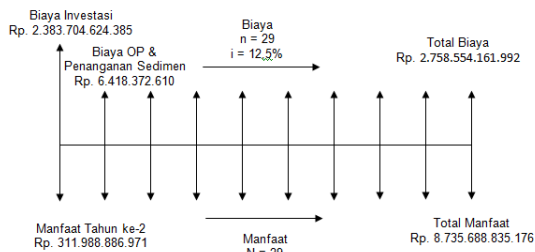


waduk yang diperoleh dari berbagai simulasi alternatif.

**i) Analisis Ekonomi**

Dalam analisis ekonomi ini seluruh biaya pengerukan sedimen dari setiap alternatif akan disimulasikan dengan manfaat yang didapatkan dari kegiatan pengerukan. Nilai yang didapat dari analisis ini yaitu *Net Benefit* (B-C), *Benefit Cost* (B/C) *Ratio*, dan *Internal Rate of Return* (IRR).

Asumsi-asumsi yang digunakan pada analisis ini diantaranya yaitu kenaikan biaya diasumsikan sebesar 5% per tahun dan bunga bank dianggap tetap sebesar 12,5% per tahun.



Gambar 8. Diagram Present Value Biaya & Manfaat Pengerukan Sedimen Alternatif 1

Rekapitulasi hasil perhitungan analisis ekonomi dari masing-masing alternatif akan ditampilkan pada tabel 12.

Tabel 12. Rekapitulasi Perhitungan Analisis Ekonomi Pengerukan Sedimen

Uraian	Alternatif Pengerukan Sedimen			
	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4
Total Biaya (juta Rp)	2,758,554	2,861,888	3,686,813	4,517,773
Total Manfaat (juta Rp)	8,735,689	9,047,678	10,295,633	11,543,589
B-C (juta Rp)	5,977,135	6,185,790	6,608,820	7,025,816
B/C	3.17	3.16	2.79	2.56
IRR	13.92%	13.86%	13.23%	12.91%

Sumber: Hasil Perhitungan

Untuk menentukan manfaat ekonomi dari penambahan usia guna waduk, maka dilakukan juga perhitungan manfaat ekonomi dengan menggunakan alternatif 1 sebagai tolak ukur usia guna waduknya, karena alternatif 1 merupakan kondisi eksisting. Sehingga perhitungan *net benefit* didapat dari perhitungan biaya dan manfaat setelah usia guna waduk 29 tahun, karena kondisi eksisting saat ini mampu menambah usia guna waduk hingga 29 tahun.

Tabel 13. Pehitungan Manfaat Ekonomi Dari Penambahan Usia Guna Waduk

Ket	Penambahan Usia Guna Waduk	Biaya (juta Rp.)	Manfaat (juta Rp.)	B-C (juta Rp.)	B/C
Alt 2	1 tahun	29,995	311,989	281,994	10.40
Alt 3	5 tahun	345,864	1,559,944	1,214,080	4.51
Alt 4	9 tahun	895,006	2,807,900	1,912,894	3.14

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah melakukan analisis pada keempat alternatif, diketahui bahwa seluruh alternatif layak untuk dilaksanakan, karena memiliki nilai B/C > 0 dan IRR > suku bunga bank, namun untuk menentukan alternatif mana yang paling layak perlu dilakukan *analisis incremental B/C*, karena berdasarkan perhitungan manfaat ekonomi dari penambahan usia guna waduk diketahui bahwa alternatif 2 memiliki nilai B/C paling tinggi, namun dilihat dari nilai B-C justru alternatif 4 yang paling tinggi.

Dalam *analisis incremental B/C* yang dibandingkan adalah kenaikan *cost* dan *benefit* antara alternatif 2 sampai dengan alternatif 4, sehingga didapatkan kenaikan B/C yang terbesar. Dari hasil perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa alternatif yang paling layak dilaksanakan adalah alternatif 4, karena selain memiliki nilai B-C paling besar, alternatif 4 juga memiliki kenaikan nilai B/C yang paling besar dibandingkan dengan alternatif lainnya

Dalam penelitian ini juga dilakukan analisis ekonomi kegiatan pengerukan berdasarkan sudut pandang pengelola waduk. Biaya yang dikeluarkan adalah hanya biaya pengerukan setiap tahunnya, tanpa memperhitungkan biaya pembangunan waduk, dan manfaat yang diperoleh hanya manfaat dari PLTA. Berdasarkan hasil perhitungan ternyata pada alternatif 4 nilai B/C < 1, yang artinya alternatif 4 tidak menguntungkan bagi pengelola waduk.

**j) Analisis Efektifitas Kegiatan Pengerukan**

Analisis efektifitas merupakan persentase efektifitas kegiatan pengerukan yang disimulasikan dalam berbagai alternatif, dalam penelitian ini analisis efektifitas ditinjau berdasarkan usia guna waduk dan juga

berdasarkan analisis ekonominya. Tolak ukur dalam menentukan efektifitas adalah alternatif 1, karena alternatif 1 merupakan gambaran dari kondisi pengerukan yang telah dilakukan selama ini.

Tabel 14. Perhitungan Analisis Efektifitas Pengerukan Waduk Wonogiri

Keterangan		alternatif 1	alternatif 2	alternatif 3	alternatif 4
Usia Guna Waduk	tahun	29	30	34	38
Efektifitas Usia Guna	%		2.67	14.74	27.89
B-C	Rp. (10 <sup>6</sup> )	5,977,135	6,185,790	6,608,820	7,025,816
Efektifitas Analisis Ekonomi	%		3.49	10.57	17.54

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan perhitungan analisis efektifitas, dapat diketahui bahwa alternatif 4 memiliki nilai efektifitas yang paling besar jika ditinjau dari usia guna waduknya, yaitu dapat meningkatkan usia guna waduk 27,89% lebih besar daripada alternatif 1. Berdasarkan analisis ekonomi alternatif 4 juga yang paling layak untuk dilaksanakan, dan memiliki nilai *net benefit* 17,54% lebih besar daripada alternatif 1, karena itu alternatif 4 yang paling tepat untuk direkomendasikan dalam kegiatan pengerukan sedimen Waduk Wonogiri. Namun apabila dilihat dari sudut pandang pengelola waduk alternatif 4 tidak menguntungkan bagi pengelola waduk, sehingga dalam penelitian ini alternatif yang direkomendasikan adalah alternatif 3, karena secara keseluruhan alternatif 3 menjadi urutan kedua untuk direkomendasikan, dan dari sudut pandang pengelola waduk alternatif 3 juga tidak merugikan.

#### 4. KESIMPULAN

Dari pembahasan serta analisis yang telah dibuat maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kondisi Waduk Wonogiri saat ini sebagian volume tampungannya telah berkurang karena sedimen. Volume awal tampungan kotor Waduk Wonogiri pada tahun 1981 adalah 560 juta m<sup>3</sup>, saat ini hanya tinggal 365 juta m<sup>3</sup>, atau berkurang 34,74% dari tampungan awal, dengan rerata sedimen tahunannya yaitu 6.485.047 m<sup>3</sup>.

Tampungan mati mengalami penurunan volume paling besar, dengan tampungan awal 120 juta m<sup>3</sup>, dan saat ini sudah tinggal 48,29% atau sekitar 58 juta m<sup>3</sup>.

2. Simulasi alternatif waktu pengerukan dan alternatif penambahan kapal keruk yang dapat dilakukan adalah dengan membuat 4 alternatif.

a. Alternatif 1 yaitu berdasarkan kondisi penanganan saat ini, dengan menggunakan 1 unit kapal keruk, lama pengerukan 4 bulan, dan volume pengerukan 100.000 m<sup>3</sup>, biaya pengerukan yang diperlukan adalah Rp. 2.758.554.161.992,-.

b. Alternatif 2, direncanakan dengan menggunakan 1 unit kapal keruk, lama pengerukan 6 bulan, dan volume pengerukan 151.200 m<sup>3</sup>, biaya pengerukan yang diperlukan adalah Rp. 2.861.887.593.990,-.

c. Alternatif 3, direncanakan dengan menggunakan 2 unit kapal keruk, lama pengerukan 4 bulan, dan volume pengerukan 352.800 m<sup>3</sup>, biaya pengerukan yang diperlukan adalah Rp. 3.686.813.027.983,-.

d. Alternatif 4, direncanakan dengan menggunakan 2 unit kapal keruk, lama pengerukan 6 bulan, dan volume pengerukan 529.200 m<sup>3</sup>, biaya pengerukan yang diperlukan adalah Rp. 4.517.772.535.913,-.

3. Manfaat yang diperoleh dari berbagai simulasi alternatif sebagai berikut:

a. Alternatif 1, usia guna waduk 29 tahun, nilai manfaat ekonomi Rp. 8.735.688.835.176,-.

b. Alternatif 2, usia guna waduk 30 tahun, nilai manfaat ekonomi Rp. 9.047.677.722.147,-, penambahan usia guna waduk 1 tahun, *net benefit* dari penambahan usia guna waduk Rp. 281.994.047.837,-.

c. Alternatif 3, usia guna waduk 34 tahun, nilai manfaat ekonomi Rp. 10.295.633.270.029,-, penambahan usia guna waduk 5 tahun, *net benefit*

dari penambahan usia guna waduk Rp. 1.214.080.491.633,-.

- d. Alternatif 4, usia guna waduk 38 tahun, nilai manfaat ekonomi Rp. 11.543.588.817.911,-, penambahan usia guna waduk 9 tahun, *net benefit* dari penambahan usia guna waduk Rp. 1.912.893.896.426,-
4. Dari empat simulasi alternatif yang telah dibuat maka dapat diketahui bahwa alternatif yang paling layak dan paling efektif dilaksanakan adalah alternatif 4, namun karena dari sudut pandang pengelola waduk tidak menguntungkan, sehingga yang direkomendasikan adalah alternatif 3, selain dapat meningkatkan usia guna waduk hingga 14,74%, alternatif 3 juga 10,57% lebih efektif secara ekonomi, dengan nilai B-C adalah Rp. 6.608.820.242.046,-, nilai B/C adalah 2,79, nilai IRR adalah 13,23%, dan nilai B-C dari 5 tahun penambahan usia guna waduk adalah Rp. 1.214.080.491.633,-

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2010). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 37 Tahun 2010 Tentang Bendungan*, Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Anonim (2013), *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 11/PRT/M/2013 Tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*, Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Brune, G. M. (1953). *Trap Efficiency of Reservoirs, Transaction of The American Geophysical Union*, Vol. 34, No. 3, pp. 407-418.
- Budihardja, Darjanta. (2009). *Kajian Banjir Besar Bengawan Solo Pada Desember 2007 dan Fungsi Waduk Wonogiri Sebagai Pengendali Banjir*, Buletin Keairan Vol. 2 No.1, Juni 2009.
- JICA. (2011). *Proposal Documents of Rehabilitation for Wonogiri Multipurpose Dam for Design Approval*, Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Kodoatie, Robert J. (1995). *Analisis Ekonomi Teknik*, Yogyakarta: C.V. Andi Offset.
- Morris Gregory L, Fan Jiahua. (1997). *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use*, New York: McGraw-Hil.
- Yang Xiaoqing, Li Shanzheng, Zhang Shiqi. (2003). The Sedimentation and Dredging of Guanting Reservoir, *International Journal of Sediment Research* Vol. 18, No. 2, 2003, pp. 130-137