

# KAJIAN EKONOMI PENANGANAN SEDIMEN PADA WADUK SERI DI SUNGAI BRANTAS (SENGGURUH, SUTAMI DAN WLINGI)

Viari Djajasinga<sup>1</sup>, Aniek Masrevaniah<sup>2</sup>, Pitojo Tri Juwono<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang

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

e-mail: viari\_djajasinga@yahoo.com

**Abstrak:** Waduk Sengguruh, Sutami dan Wlingi merupakan tiga waduk seri di hulu Sungai Brantas dengan laju sedimentasi yang tinggi, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk menentukan metode penanganan sedimen yang tepat agar upaya penanganan sedimen dapat mempertahankan fungsi manfaat waduk sekaligus layak secara ekonomi.

Pengolahan dan analisa data dilakukan untuk mengetahui kondisi tampungan, trap efficiency, laju sedimentasi, dan volume penanganan yang paling layak. Analisa dilakukan dalam 2 tahap, tahap pertama terhadap kondisi saat ini dan tahap kedua terhadap 4 (empat) alternatif penanganan selama 10 tahun. Alternatif 1 adalah penanganan sedimen dengan volume 1 juta m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan Alternatif 2, Alternatif 3 dan Alternatif 4 adalah penanganan sedimen dengan volume sama dengan laju sedimentasi tahunan dengan perbedaan variasi metode kerja.

Laju sedimentasi pada ketiga waduk dalam kisaran 20 tahun terakhir mencapai 1.7 juta m<sup>3</sup>/tahun, sehingga perlu dilakukan penanganan sedimen dengan volume minimal 1.7 juta m<sup>3</sup>/tahun. Hasil kajian ekonomi menunjukkan bahwa Alternatif ke 3 yang memberikannilai B/C = 1.03, IRR = 17.35% dan NPV = Rp. 6.37 Milyar merupakan alternatif dengan volume penanganan sedimen sesuai dengan laju sedimentasi dan paling layak dari sudut pandang ekonomi.

**Kata kunci:** sedimentasi waduk, penanganan sedimen, manfaat ekonomi.

**Abstract:** Sengguruh, Sutami and Wlingi, were series of three reservoirs in the upper Brantas River which have a high rate of sedimentation, thus research should be carried out to determine the proper method of sediment handling which could maintain the benefit function of reservoirs as well as feasible from economic perspective.

Processing data and data analysis was performed to determine the condition of reservoir capacity, sedimentation rate, the amount of sediment handling and most feasible alternatives on sediment handling. The analyzes carried out in two phases, first phases to the existing condition and the second phases to four (4) alternatives of sediment handling at ten years project work. Alternative 1 is sediment handling with a volume of 1 million cum/year, while Alternative 2, Alternative 3, and Alternative 4 is sediment handling with volume equals to annual sedimentation rate with variation on different work method.

The average sedimentation rate in those reservoirs on the last 20 years reaching a massive 1.7 million cum/year. Hence, routine sediment handling with dredging and flushing work should to be done with minimal volume at 1.7 million cum/year. The result of economic analysis show that alternative 3 with B/C = 1.03, IRR = 17.35% and NPV = Rp. 6.37 Billion in the alternative with volume of sediment handled equals to sedimentation rate and feasible from economic perspective.

**Keywords:** reservoir sedimentation, sediment handling, economic benefit.

Manusia melakukan intervensi pada pola ketersediaan air melalui pembuatan tampungan air melalui pembangunan bendungan (Azdan, 2008).

Dalam perencanaan bendungan, telah diperhitungkan volume tertentu untuk menampung sedimen yang masuk ke waduk sepanjang usia gunanya. Namun, beban sedimentasi yang tinggi menyebabkan

waduk seringkali tidak dapat bertahan sesuai usianya.

Waduk Sengguruh, Sutami, dan Wlingi merupakan tiga waduk di hulu Sungai Brantas yang memegang peranan penting dalam hal pengendalian banjir, penyediaan air untuk irigasi dan membangkitkan sebagian besar energi listrik PLTA di Jawa Timur. Na-

mun ketiganya juga menerima beban sedimentasi yang begitu tinggi sejak awal operasinya.

Rerata sedimentasi yang terjadi Waduk Sengguruh pada rentang tahun 1988-2004 mencapai 1,42 juta m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan pada Waduk Sutami, rerata sedimentasi yang terjadi pada rentang tahun 1972-2003 mencapai 6,42 juta m<sup>3</sup>/tahun. Sedangkan Waduk Wlingi mengalami sedimentasi 1,4 juta m<sup>3</sup>/tahun, yang sebagian besar merupakan akibat letusan Gunung Kelud pada tahun 1990 (Soekistijono, 2005).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan metode penanganan sedimen yang tepat sehingga upaya penanganan sedimen dapat mempertahankan fungsi manfaat waduk sekaligus layak dari sudut pandang ekonomi.

Dalam penelitian ini, dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi sedimentasi di waduk-waduk tersebut?
2. Alternatif penanganan sedimen seperti apa yang dapat dilakukan pada waduk-waduk tersebut?
3. Bagaimana efektifitas dari alternatif penanganan sedimen, meliputi:
  - a. Berapa biaya yang perlu dikeluarkan untuk penanganan sedimen?
  - b. Berapa nilai manfaat yang diperoleh dengan penanganan sedimen yang dilakukan?
  - c. Alternatif mana yang paling layak secara ekonomis untuk dapat dilaksanakan?

## TINJAUAN PUSTAKA

### Sedimentasi Waduk

Selain disebabkan oleh abu vulkanik dari letusan gunung berapi, penyebab utama sedimentasi waduk adalah akibat aktifitas dan ulah manusia sendiri. Di berbagai penjuru dunia, perilaku manusia pada alam telah menyebabkan banyak waduk kehilangan fungsi teknis dan ekonomis dari tampungannya dalam waktu tak terlalu lama (Palmieri, 2001).

### Trap Efficiency

Soewarno (1991) menyatakan, bahwa kemampuan waduk untuk menampung sedimen dikenal sebagai efisiensi tampungan waduk (*trap efficiency*). *Trap efficiency* dinyatakan sebagai persentase dari sedimen total yang mengendap dalam waduk terhadap sedimen yang masuk waduk. Hubungan antara efisiensi tampungan dan perbandingan antara kapasitas tampungan waduk dan debit tahunan yang masuk waduk dirumuskan sebagai berikut (Brune, 1953 pada Soewarno, 1991):

$$Y = 100 (1 - 1/(1+ax))^n \quad (1)$$

Dimana:

- Y = Efisiensi Tampungan  
 x = Perbandingan kapasitas tampungan waduk dengan inflow tahunan  
 a = konstanta, dimana a = 100, untuk kurva rata-rata  
 n = konstanta, dimana n = 1.5 untuk kurva rata-rata

Apabila kapasitas tampungan waduk lebih kecil daripada debit inflow tahunan, maka air akan tertampung pada waduk dalam waktu relatif pendek, sehingga sedimen yang melayang akan lebih banyak melimpas pada pelimpah tanpa sempat mengendap. Sebaliknya, apabila kapasitas tampungan waduk lebih besar daripada debit inflow tahunan, air akan cenderung tertampung lebih lama, sehingga praktis hampir semua sedimen akan mengendap pada tampungan waduk tersebut.

### Laju Sedimentasi

Morris (1997) menyatakan, bahwa laju sedimentasi diartikan sebagai jumlah sedimen dari sungai yang masuk ke tampungan dalam satu periode waktu tertentu. Proses estimasi laju sedimentasi sudah dilakukan selama beberapa dekade untuk menghitung volume tampungan sedimen pada perencanaan bendungan dan waduk, namun hasil estimasi ini seringkali tidak cukup akurat untuk memproyeksikan laju sedimentasi pada suatu waduk, sehingga sering didapati waduk yang mengalami sedimentasi jauh lebih cepat dibandingkan rencana awal.

Laju sedimentasi pada waduk dapat dihitung dengan melakukan survey pada waduk maupun dengan melakukan survey sedimen pada aliran sungai. Walaupun kedua metode ini sama-sama memiliki potensi faktor kesalahan yang penting, namun secara umum survey dan pengukuran di waduk dapat menampilkan data yang lebih dapat dipercaya untuk menentukan laju sedimentasi terutama pada periode waktu yang cukup panjang (Morris, 1997).

### Metode Penanganan Sedimen

Strategi penanganan sedimen menurut Sumi (2011) adalah dengan upaya sbb:

- a. Mencegah dan mengurangi terjadinya penggerusan permukaan tanah (*degradation*) di DAS bagian hulu dan sungai yang mengalir ke waduk. Metode ini dilaksanakan dengan upaya konservasi dan pembuatan bangunan penahan sedimen di hulu sungai.

- b. Mengalirkan sedimen keluar dari waduk (*sediment routing*) dengan menggunakan gaya gravitasi. Upaya yang dilakukan berupa pembuatan *diversion weir*, pembuatan *sedimen bypass tunnel*, maupun melakukan *density current venting*.
- c. Mengeluarkan sedimen dari waduk dengan menggunakan alat berat (*dredging*) maupun dengan *flushing* (penggelontoran).

Berdasarkan parameter waktu, penanganan sedimentasi waduk dapat dikelompokkan menjadi:

- a. Penanganan jangka pendek, merupakan penanganan darurat yang dilakukan untuk mempertahankan fungsi operasional waduk terutama dikaitkan dengan bangunan pengambilan air yang ada di waduk. Idealnya penanganan jangka pendek dilakukan dalam kurun waktu maksimal sepuluh tahun.
- b. Penanganan jangka menengah adalah upaya untuk mengurangi jumlah sedimen yang masuk ke waduk dengan melakukan pembangunan bangunan struktural yang berfungsi untuk menahan sedimen berupa cek dam dan sabo dam. Penanganan jangka menengah biasanya dilakukan dalam kurun waktu sepuluh sampai dua puluh tahun.
- c. Sedangkan penanganan jangka panjang berupa upaya konservasi lahan di daerah hulu dengan cara vegetatif maupun teknis, yang biasanya baru dapat dirasakan dampaknya dalam jangka waktu panjang (lebih dari 20 tahun).

**Analisa Ekonomi**

Menurut Suyanto, dkk (2001), *benefit cost ratio* (BCR) merupakan perbandingan antara *benefit* dengan *cost*.

$$\frac{B}{C} = \frac{(pV)B}{(pV)C} \tag{2}$$

Apabila nilai  $B/C < 1$ , proyek tersebut tidak layak, sedangkan bila nilai  $B/C > 1$ , maka proyek tersebut layak. Pada analisis ini, *benefit* adalah nilai pendapatan yang diperoleh dari produksi listrik, sedangkan *biaya* adalah biaya yang dibutuhkan untuk penanganan sedimen waduk.

Nilai sekarang (*Present Value*) perlu dihitung untuk mengetahui nilai waktu dari uang (*time value of money*). Menurut Kodoatie (1995), dari nilai Manfaat (*Benefit*) dan Biaya (*Cost*) yang sudah dihitung terlebih dahulu, dapat dilakukan analisis dengan rumus sebagai berikut:

$$P_n = \frac{F}{(1+i)^n} \tag{3}$$

Dimana:

- $P_n$  = Jumlah uang pada akhir n periode saat sekarang
- $F$  = Jumlah uang pada saat yang akan datang
- $n$  = jumlah tahun yang ditinjau
- $i$  = tingkat suku bunga yang berlaku

Suyanto, dkk (2001) mendefinisikan *Internal Rate of Return* (IRR) sebagai bunga bank, dimana *total cost* sama dengan *total benefit*. Jika *benefit* dan *cost* konstan maka IRR adalah bunga bank dimana biaya tahunan sama dengan *benefit* tahunan. Parameter kelayakan proyek berdasarkan nilai IRR adalah sebagai berikut:

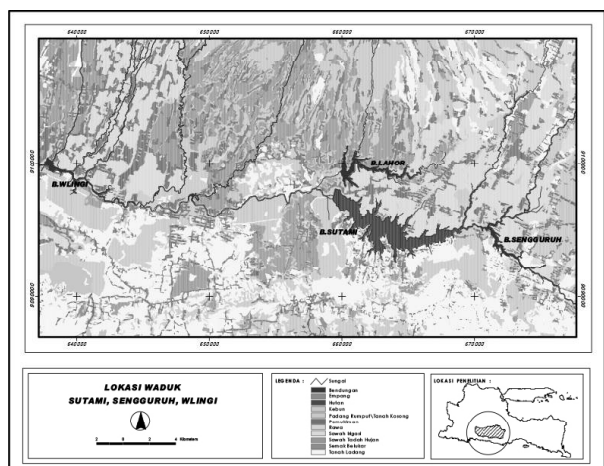
- Bila nilai IRR > bunga bank yang diinginkan, proyek dianggap layak,
- Bila nilai IRR < suku bunga bank yang diinginkan, maka proyek dianggap tidak layak.

**METODE PENELITIAN**

**Lokasi Penelitian**

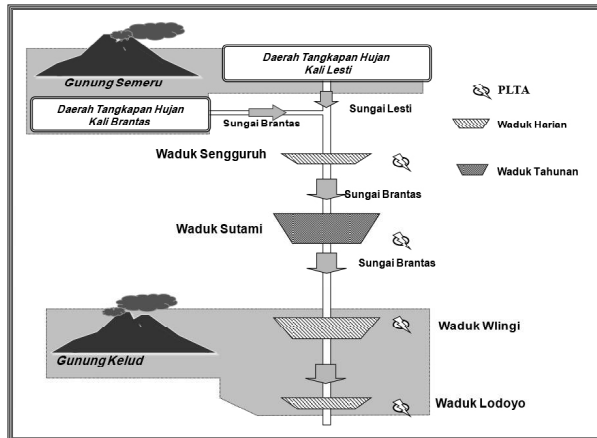
Daerah Aliran Sungai Brantas terletak pada 110°30’-112°55’ BT dan 7°01’-8°15’ LS, membentang seluas ±11.800 km<sup>2</sup> dan mengalir melingkar sepanjang 320 km dari sumbernya di Kota Batu hingga muaranya di Kali Mas dan Kali Porong.

Waduk Sengguruh berada di Kabupaten Malang, 25 km di selatan Kota Malang, dan berjarak sekitar 14 km di hulu Bendungan Sutami tepat pada pertemuan Kali Lesti dan Kali Brantas. Waduk Wlingi berada di Kabupaten Blitar, berjarak 25 km di Hilir Waduk Sutami. Peta lokasi ketigawaduk dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 1. Peta Waduk Sengguruh, Sutami dan Wlingi**

Ilustrasi sistem waduk di Sungai Brantas Hulu dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 2 Sistem Waduk di Brantas Hulu**

### Tahapan Penelitian

Penelitian ini secara umum dibagi menjadi tiga (3) tahapan, yaitu (i) analisis kondisi sedimentasi waduk, (ii) analisis dampak sedimentasi waduk beserta penanganan yang dapat dilakukan dengan berbagai alternatif, dan (iii) analisis ekonomi dari penanganan sedimen berdasarkan perhitungan biaya dan manfaat yang diperoleh. Peninjauan tiap tahap dilakukan pada kondisi saat ini dan kondisi setelah dilakukan alternatif penanganan sedimen.

Perhitungan biaya dilakukan berdasar biaya pelaksanaan pengerukan dan *flushing*. Manfaat yang dihitung hanya manfaat dari produksi listrik mengingat pemanfaatan air pada sektor pertanian dan pengendalian banjir bersifat pelayanan umum, sehingga tidak memiliki nilai tarif yang harus dibayarkan oleh pengguna air waduk. Analisis ekonomi yang dilakukan adalah analisa BCR, IRR dan NPV.

### Kondisi Sedimentasi Waduk

Analisa dilakukan dengan menggunakan data pengukuran kapasitas waduk yang secara rutin dilakukan oleh Perum Jasa Tirta I dan hasil penelitian terdahulu. Dari analisa ini diperoleh kondisi tampungan waduk, *trap efficiency* waduk serta laju sedimentasi yang terjadi pada ketiga waduk, yang selanjutnya dipakai sebagai dasar penentuan volume penanganan sedimen yang akan dilakukan.

### Penanganan Sedimentasi Waduk

Dalam tahapan ini dilakukan analisis penanganan sedimen waduk pada dua kondisi, yaitu (1) kondisi saat ini dan (2) kondisi setelah dilakukan alternatif penanganan sedimen. Tinjauan dilakukan pada nilai biaya dan manfaat pada setiap kondisi.

Alternatif penanganan sedimen yang direncanakan adalah:

#### 1) Alternatif 1 ( $A_1$ )

Penanganan sedimen yang dilakukan oleh Perum Jasa Tirta I pada tahun 2011, yaitu pengerukan menggunakan *Cutter Suction Dredger* di Waduk Sengguruh, Sutami dan Wlingi serta *flushing* di Waduk Wlingi. Kondisi umum dari alternatif ini adalah:

- Volume penanganan sedimen pada ketiga waduk adalah sebesar 1 juta  $m^3$ , yaitu: pengerukan Waduk Sengguruh sebesar 200.000  $m^3$ , Waduk Sutami 300.000  $m^3$  dan Waduk Wlingi 100.000  $m^3$ . Volume *flushing* di Waduk Wlingi sebesar 400.000  $m^3$ .
- Material sedimen hasil pengerukan dibuang di lokasi *spoil bank* terdekat dari lokasi pengerukan.
- Estimasi produksi satu (1) unit dredger sebesar 30.000  $m^3$ /bulan.

#### 2) Alternatif 2 ( $A_2$ )

Volume penanganan sedimen sama dengan volume sedimen yang masuk di ketiga waduk. Penambahan volume pengerukan dibandingkan alternatif 1 disiasati dengan pembuatan *spoil bank* baru yang memungkinkan di sekitar waduk. Biaya pembebasan lahan dan pembuatan *spoil bank* baru akan diperhitungkan sebagai biaya tambahan.

#### 3) Alternatif 3 ( $A_3$ )

Volume penanganan sedimen sama dengan alternatif 2, namun penambahan volume pengerukan selain disiasati dengan pembuatan *spoil bank* di lokasi baru dan dengan *hauling*. Biaya *hauling* dan pembuatan *spoil bank* baru akan diperhitungkan sebagai biaya tambahan.

#### 4) Alternatif 4 ( $A_4$ )

Volume penanganan sedimen sama dengan alternatif 2, namun penambahan volume pengerukan dilakukan dengan merubah metode pembuangan material. Pada pengerukan Waduk Sutami material hasil pengerukan selain ditampung di *spoil bank*, juga dibuang ke *downstream* bendungan. Biaya investasi peralatan *Cutter Suction Dredger* dengan spesifikasi yang berbeda dan perlengkapan lain untuk pelaksanaan alternatif ini dimasukkan sebagai biaya tambahan

## HASIL ANALISA & PEMBAHASAN

### Karakteristik Waduk

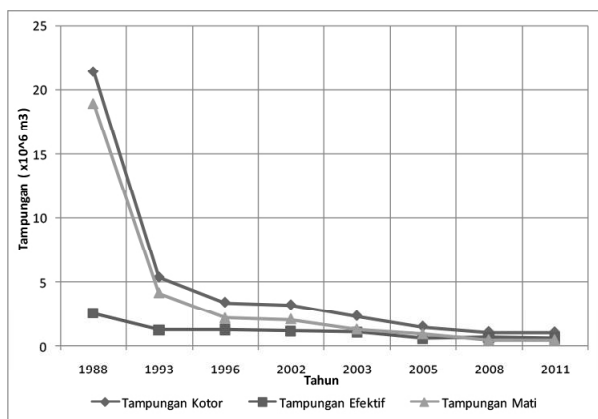
Waduk Sengguruh, Sutami dan Wlingi adalah tiga waduk penting yang menghasilkan 67.43% produksi listrik PLTA di Jawa Timur. Berbeda dari Waduk Sutami, Waduk Sengguruh dan Wlingi adalah waduk yang dibangun untuk menampung sedimen, selain difungsikan sebagai pembangkit listrik dan penyedia air untuk irigasi. Hal ini ditunjukkan dengan rasio tampungan mati dibanding tampungan efektif Waduk Sengguruh dan Wlingi yang sebesar 88.3% dan 78.3% sedang Waduk Sutami hanya 26% saja. Tabel berikut menunjukkan kapasitas tampungan awal ketiga waduk.

Tabel 1. Tampungan Awal Waduk

Waduk	Tinggi M.A. Waduk (m)		Kapasitas Tampungan Awal (Juta m <sup>3</sup> )		
	HWL	LWL	Kotor	Efektif	Mati
Sengguruh	292.50	291.40	21.50	2.50	19.00
Sutami	272.50	246.00	343.00	253.00	90.00
Wlingi	163.50	162.00	24.00	5.20	18.80

### Sedimentasi Waduk Sengguruh

Sejak selesai dibangun tahun 1988, Waduk Sengguruh yang dibangun untuk menahan sedimentasi pada Waduk Sutami telah menerima sedimentasi yang tinggi. Gambar 3 Menunjukkan penurunan. tampungan waduk akibat sedimentasi, dimana di tahun 2011 kapasitas tampungan kotor Waduk Sengguruh hanya tinggal 1.04 juta m<sup>3</sup>, tampungan efektif dan tampungan matinya, masing-masing hanya tinggal 0.58 dan 0.46 juta m<sup>3</sup>.



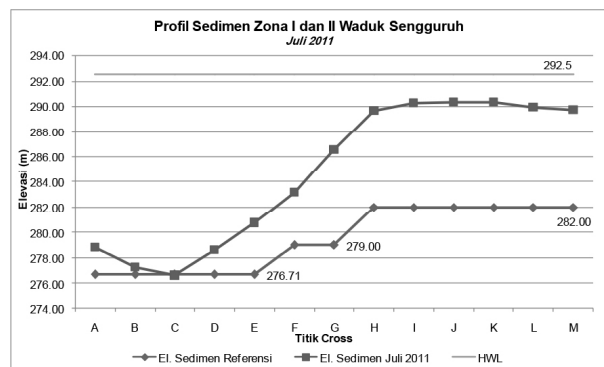
Gambar 3. Perubahan Tampungan Waduk Sengguruh

Dengan menggunakan data tampungan waduk dan data debit inflow, dilakukan perhitungan laju sedimentasi dan perubahan kapasitas tampungan yang terjadi serta perubahan trap efficiency waduk.

Hasil perhitungan sedimentasi Waduk Sengguruh dapat dilihat pada tabel 2, sementara perubahan trap efficiency dapat dilihat pada table 3.

Tampak bahwa sedimentasi yang terjadi pada masa awal beroperasinya waduk (1988-1993) sangat tinggi, hingga mencapai 3.23 juta m<sup>3</sup>/tahun. Kondisi ini menyebabkan terjadinya penurunan trap efficiency waduk secara signifikan, dimana pada tahun 2011, trap efficiency Waduk Sengguruh hanya tinggal 1.37%, jauh berkurang dibandingkan saat awal operasinya yang mencapai 41.08 %.

Kondisi ini menyebabkan sedimentasi tinggi di sekitar intake PLTA, hingga elevasi sedimen sudah berada di atas elevasi sedimen referensi yang disyaratkan untuk operasional PLTA. Hal ini mengakibatkan seringnya operasi PLTA terganggu karena PLTA terpaksa dihentikan saat terjadi debit inflow cukup besar (bukan kondisi banjir) agar tidak terjadi gangguan yang lebih parah pada turbin dan generator PLTA akibat sedimen masuk ke dalam turbin dan generator. Profil sedimen pada zona I dan II di sekitar PLTA dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Profil Sedimen Waduk Sengguruh

Tabel 2 Sedimentasi Waduk Sengguruh

Periode	Volume Sedimentasi (juta m <sup>3</sup> )	Perubahan Tampungan Efektif (juta m <sup>3</sup> )	Perubahan Tampungan Mati (juta m <sup>3</sup> )	Rerata Sedimentasi (juta m <sup>3</sup> /th)
1988 - 1993	16.14	1.29	14.85	3.23
1993 - 2002	2.16	0.08	2.08	0.24
2002 - 2011	2.17	0.55	1.62	0.24

Tabel 3 Trap Efficiency Waduk Sengguruh

Tahun	Tampungan Waduk (juta m <sup>3</sup> )	Inflow Tahunan (juta m <sup>3</sup> )	Trap Efficiency (%)
1988	21.50	1740.787	41.08
1993	5.36	1469.552	13.82
2002	3.20	1588.227	6.87
2011	1.04	1701.863	1.37

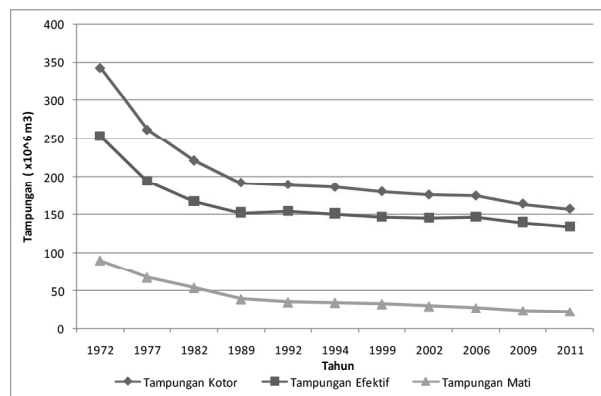
Untuk menjaga agar elevasi muka air waduk tetap terkendali sebelum terjadi *overtopping*, maka debit *outflow* harus dialirkan melalui *spillway*. Kondisi ini menyebabkan sebagian besar sedimen tidak sempat mengendap, melainkan langsung masuk ke tampungan Waduk Sutami dan menambah beban sedimentasi waduk.

Untuk mempertahankan tampungan waduk, sejak tahun 1995 upaya teknis berupa pengerukan sedimen dilaksanakan di Waduk Sengguruh, dengan total volume sampai tahun 2011 sebesar 3.34 juta m<sup>3</sup>, setara dengan 185.8 ribu m<sup>3</sup>/th.

### Sedimentasi Waduk Sutami

Waduk Sutami memiliki kapasitas tampungan yang cukup besar, namun tingginya laju sedimentasi yang terjadi pada periode awal operasi, menyebabkan waduk ini mengalami penurunan kapasitas tampungan yang signifikan dalam empat tahun pertama beroperasi (1973 sd 1977).

Gambar 5 berikut menunjukkan pengurangan kapasitas tampungan yang terjadi pada Waduk Sutami.



Gambar 5 Perubahan Tampungan Waduk Sutami

Setelah Bendungan Sengguruh selesai dibangun (1988), terjadi tren penurunan sedimentasi yang signifikan. Pada tahun 1989, laju sedimentasi yang terjadi mencapai 8.86 juta m<sup>3</sup>/tahun, sehingga volume tampungan kotor Waduk Sutami tereduksi sekitar 44%, atau rata-rata mendekati 2.5 % per tahun. Besarnya laju sedimentasi ini dapat diredam selama periode awal operasi Waduk Sengguruh (1989 sd 1993), namun seiring dengan makin menurunnya *trap efficiency* Waduk Sengguruh, tren kenaikan sedimentasi di Waduk Sutami kembali meningkat sejak tahun 1994.

Sejak tahun 2002, saat *trap efficiency* Waduk Sengguruh hanya tersisa kurang dari 7 %, laju sedimentasi yang terjadi di Waduk Sutami mengalami peningkatan tren kembali. Hasil perhitungan sedimentasi dan *trap efficiency* Waduk Sutami dan dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Sedimentasi Waduk Sutami

Periode	Volume Sedimentasi (juta m <sup>3</sup> )	Perubahan Tampungan Efektif (juta m <sup>3</sup> )	Perubahan Tampungan Mati (juta m <sup>3</sup> )	Rerata Sedimentasi (juta m <sup>3</sup> /th)
1972 - 1989	150.61	100.37	50.24	8.86
1989 - 2002	16.39	7.20	9.19	1.26
2002 - 2011	17.08	9.69	7.40	1.90

Tabel 5. *Trap Efficiency* Waduk Sutami

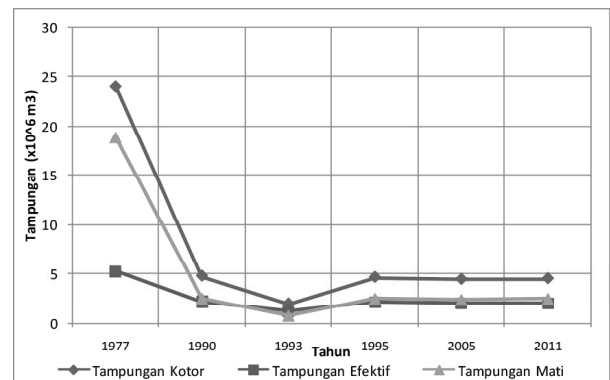
Tahun	Tampungan Waduk (juta m <sup>3</sup> )	Inflow Tahunan (juta m <sup>3</sup> )	Trap Efficiency (%)
1972*)	343.00	2129.452	91.36
1989	192.39	1,842.132	87.18
2002	176.00	2,289.548	83.24
2011	158.92	2,644.133	79.38

Untuk dapat mengurangi dampak sedimentasi, sejak tahun 2004 dilakukan penanganan teknis dengan pengerukan sedimen di Waduk Sutami. Hingga tahun 2011, volume sedimen yang telah dikeruk mencapai 2.74 juta m<sup>3</sup>, setara dengan 124.6 ribu m<sup>3</sup>/tahun.

### Sedimentasi Waduk Wlingi

Pada pengukuran bulan Januari 1990 (sebelum G. Kelud meletus) diketahui bahwa tampungan kotor Waduk Wlingi berkurang hingga 19.2% dari volume awalnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa walaupun belum terjadi letusan G. Kelud, secara alamiah Waduk Wlingi sudah menerima beban sedimentasi yang cukup tinggi. Gunung Kelud meletus pada Pebruari 1990 dan sejak itu Waduk Wlingi praktis terenuhi oleh sedimen.

Gambar 6 berikut menunjukkan pengurangan kapasitas tampungan yang terjadi pada Waduk Wlingi, dan hasil perhitungan sedimentasi dan *trap efficiency* Waduk Wlingi dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.



Gambar 6. Perubahan Tampungan Waduk Wlingi

**Tabel 6. Sedimentasi Waduk Wlingi**

Periode	Volume Sedimentasi (juta m <sup>3</sup> )	Perubahan Tampungan Efektif (juta m <sup>3</sup> )	Perubahan Tampungan Mati (juta m <sup>3</sup> )	Rerata Sedimentasi (juta m <sup>3</sup> /th)
1977 - 1990	19.26	3.00	16.26	1.48
1990 - 1995	0.12	0.10	0.02	0.02
1995 - 2011	0.13	0.12	0.02	0.01

**Tabel 7. Trap Efficiency Waduk Wlingi**

Tahun	Tampungan Waduk (juta m <sup>3</sup> )	Inflow Tahunan (juta m <sup>3</sup> )	Trap Efficiency (%)
1977*)	24.00	3,525.898	25.77
1990	4.74	3,290.291	4.47
1995	4.62	3,103.422	4.66
2011	4.49	3,576.078	3.73

Sejak tahun 1990 hingga kini dilakukan penanganan sedimen secara rutin di Waduk Wlingi berupa pengerukan dan *flushing*. Kegiatan ini dapat mempertahankan kondisi waduk mendekati kondisi sebelum Gunung Kelud meletus, dimana pada tahun 2010 volume tampungan kotor sebesar 4.49 juta m<sup>3</sup> dan tampungan efektif sebesar 1.99 juta m<sup>3</sup>.

### Kondisi Penanganan Saat Ini

Kondisi saat ini adalah penanganan yang telah dilakukan pada ketiga waduk melalui pengerukan dan flushing hingga tahun 2011. Analisa penanganan sedimen saat ini meliputi jumlah sedimentasi per tahun yang terjadi dan rerata sedimentasi tahunan pada periode waktu tertentu seperti dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9 berikut.

**Tabel 8. Laju Sedimentasi Waduk**

Waduk	Periode	Jumlah Tahun	Volume Sedimentasi (juta m <sup>3</sup> )	Rerata Sedimentasi (juta m <sup>3</sup> / th)
Sengguruh	1993 - 2011	18	4.325	0.240
Sutami	1988 - 2011	23	33.472	1.455
Wlingi	1990 - 2011	21	0.250	0.012
Total laju sedimentasi :				1.707

**Tabel 9. Penanganan Sedimen Saat Ini**

Waduk	Rerata Pengerukan (juta m <sup>3</sup> /th)	Rerata Flushing (juta m <sup>3</sup> /th)	Volume Penanganan (juta m <sup>3</sup> /th)
Sengguruh	0.186	0.000	0.186
Sutami	0.125	0.000	0.125
Wlingi	0.324	0.264	0.588
Total penanganan sedimentasi :			0.898

Total laju sedimentasi yang terjadi pada ketiga waduk mencapai 1.707 juta m<sup>3</sup>/tahun sedangkan to-

tal volume penanganan sedimen pada ketiga waduk saat ini adalah sebesar 0.898 juta m<sup>3</sup>/ tahun.

Kondisi ini menunjukkan bahwa penanganan sedimen yang telah dilakukan belum dapat mengimbangi laju sedimentasi yang terjadi pada ketiga waduk.

### Alternatif Penanganan Sedimen

Metode penanganan sedimen yang dilakukan berupa penanganan teknis dengan pengerukan (*dredging*) dan penggelontoran (*flushing*) yang dibedakan menjadi 4 (empat) alternatif skenario dengan perbedaan pada volume penanganan sedimen, metode pengerukan, dan lokasi pembuangan material.

Volume total penanganan sedimen pada alternatif 1 adalah volume pekerjaan yang dilaksanakan oleh Perum Jasa Tirta I di tahun 2011 yaitu sebesar 1 juta m<sup>3</sup> untuk ketiga waduk. Sedangkan total volume pekerjaan pada alternatif 2, alternatif 3 dan alternatif 4 dihitung dari rerata laju sedimentasi tahunan yang terjadi pada ketiga waduk sesuai Tabel 8, yaitu sebesar 1.7 juta m<sup>3</sup>/tahun.

Rincian dari alternatif penanganan sedimen yang direncanakan adalah sebagai berikut:

- 1) Alternatif 1 (A1): kondisi penanganan sedimen pada ketiga waduk di tahun 2011. Parameter yang digunakan pada alternatif ini adalah:
  - Material hasil pengerukan dibuang ke lokasi *spoil bank* yang telah tersedia.
  - Volume penanganan sedimen sebesar 1 juta m<sup>3</sup>, mencakup volume pengerukan sebesar 0.6 juta m<sup>3</sup> (Waduk Sengguruh 0.2 juta m<sup>3</sup>, Waduk Sutami 0.3 juta m<sup>3</sup> dan Waduk Wlingi 0.1 juta m<sup>3</sup>).
  - Volume *flushing* di Waduk Wlingi sebesar 400.000 m<sup>3</sup>.
  - Peralatan pengerukan yang digunakan adalah *Cutter Suction Dredger* yang tersedia, dengan estimasi kapasitas produksi sebesar 30.000 m<sup>3</sup> / bln.
- 2) Alternatif 2 (A2):
  - Fokus pengerukan dilaksanakan pada Waduk Sengguruh dan Sutami, material hasil pengerukan dibuang ke *spoil bank* yang tersedia. Penambahan volume pengerukan dibuang pada lokasi *spoil bank* baru.
  - Volume penanganan sedimen sebesar 1.7 juta m<sup>3</sup>, mencakup volume pengerukan sebesar 1.3 juta m<sup>3</sup>, (Waduk Sengguruh 0.7 juta m<sup>3</sup>, Waduk Sutami 0.5 juta m<sup>3</sup> dan Waduk Wlingi 0.1 juta m<sup>3</sup>).
  - Volume *flushing* di Waduk Wlingi sebesar 400.000 m<sup>3</sup>.

## 3) Alternatif 3 (A3)

- Fokus pengerukan pada Waduk Sengguruh dan Sutami, material hasil pengerukan di buang ke lokasi *spoil bank* yang tersedia, penambahan volume pengerukan di Sengguruh ditampung dalam *spoil bank* baru serta pekerjaan *hauling*.
- Volume penanganan sedimen sebesar 1.7 juta m<sup>3</sup>, mencakup volume pengerukan sebesar 1.3 juta m<sup>3</sup> (Waduk Sengguruh sebesar 0.7 juta m<sup>3</sup>, Waduk Sutami 0.5 juta m<sup>3</sup> dan Waduk Wlingi 0.1 juta m<sup>3</sup>).
- Volume *flushing* di Waduk Wlingi sebesar 400.000 m<sup>3</sup>.

## 4) Alternatif 4 (A4)

- Fokus pengerukan pada Waduk Sutami, material dibuang ke *spoil bank* yang tersedia, penambahan volume pengerukan di buang ke *downstream* waduk menggunakan dredger spesifikasi khusus.
- Dampak pembuangan material pengerukan ke *downstream* Waduk Sutami tentunya menambah beban sedimentasi Waduk Wlingi, sehingga dilakukan penambahan volume pengerukan Waduk Wlingi.
- Volume penanganan sedimen sebesar 1.7 juta m<sup>3</sup>, mencakup volume pengerukan sebesar 1.7 juta m<sup>3</sup> (Waduk Sengguruh sebesar 0.2 juta m<sup>3</sup>, Waduk Sutami 0.8 juta m<sup>3</sup> dan Waduk Wlingi 0.3 juta m<sup>3</sup>).
- Volume *flushing* di Waduk Wlingi sebesar 400.000 m<sup>3</sup>.

### Analisis Biaya Penanganan Sedimen

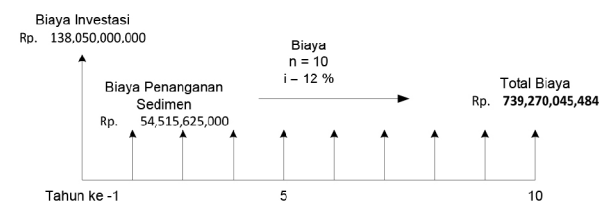
Biaya penanganan sedimen dengan alternatif diatas merupakan data harga satuan pekerjaan dengan rincian sebagai berikut:

1. Biaya Pengerukan, dikelompokkan menjadi dua, yaitu sebesar Rp. 30.000,-/m<sup>3</sup> untuk pengerukan dengan *dredger existing* dan Rp. 55.000,-/m<sup>3</sup> untuk *dredger* investasi baru.
2. Biaya *Spoil Bank*, dikelompokkan menjadi dua, yaitu penyiapan *spoil bank existing* sebesar Rp. 10.000,-/m<sup>3</sup> dan pembuatan *spoil bank* baru sebesar Rp. 13.000,-/m<sup>3</sup> sedimen ditampung.
3. Biaya *Hauling*, sebesar Rp. 28.000,-/m<sup>3</sup> material dipindahkan. Jarak *hauling* maksimal adalah 6 km.
4. Biaya pembebasan lahan untuk lokasi *spoil bank baru*, asumsi tinggi tanggul 6 m, material terisi 5 m, maka diperlukan lahan seluas 20.000 m<sup>2</sup> untuk menampung setiap 100.000 m<sup>3</sup> sedimen. Berdasar data nilai jual obyek pajak di seng-

guruh, nilai jual tanah pertanian (sawah) senilai Rp. 50.000,-/m<sup>2</sup>.

5. Biaya investasi peralatan, termasuk peralatan pendukung (*floating pipe*, *booster* dan pipa darat) dengan kedalaman pengerukan > 20 m dan jarak buang > 2 km. Nilai investasi diperkirakan ± Rp. 80.000.000.000,-
6. Biaya *flushing*, sebesar Rp.150.000.000,- untuk setiap kali *flushing*.

Jumlah seluruh biaya dalam satu tahun lalu di proyeksikan setiap tahun, selama 10 tahun ke depan, dengan asumsi kenaikan biaya per tahun sebesar 5%. Ilustrasi komponen biaya seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Komponen Biaya Alternatif 4

### Analisis Manfaat Ekonomi

Manfaat ekonomi air waduk dihitung berdasarkan pendapatan yang diperoleh pengelola waduk (Perum Jasa Tirta I) dari energi yang dibangkitkan oleh PLTA pada ketiga waduk. Perhitungan manfaat dilakukan dengan mengalikan jumlah produksi energi listrik dari ketiga waduk dengan tarif Biaya Jasa Pengelolaan Sumber Daya Air (BJPSDA) tahun 2011 sesuai dengan peraturan yang berlaku dalam Kepmen PU.No.182/KPTS/M/2011, yaitu sebesar Rp 130,92/kWh. Untuk kondisi tanpa alternatif penanganan, volume produksi listrik diambil dari data produksi listrik di ketiga waduk dengan tingkat keandalan 70%. Produksi listrik Sengguruh sebesar 71.277 GWh/th, Sutami sebesar 439.12 GWh/th dan Wlingi sebesar 143.66 GWh/th.

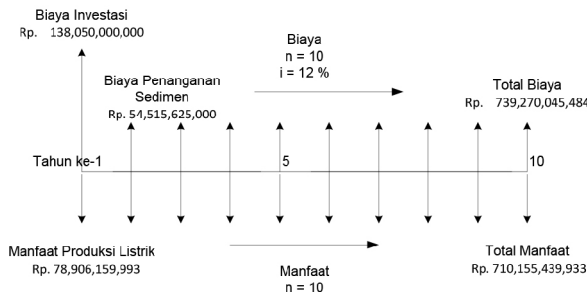
Analisis manfaat listrik pada kondisi dengan alternatif penanganan menggunakan produksi listrik rata-rata Sengguruh, Sutami dan Wlingi periode 10 tahun terakhir, dimana tingkat keandalan rata-rata produksi listrik pada ketiga waduk adalah 55.89%. Hasil perhitungan volume listrik untuk kondisi setelah penanganan sedimen, pada Waduk Sengguruh sebesar 76,375 GWh/th, Sutami sebesar 448,778 GWh/th dan Wlingi sebesar 149,876 GWh/th.

### Analisis Ekonomi

Pada tahapan analisis ekonomi komponen biaya penanganan sedimen sebelum penanganan dan pada ke-empat alternatif penanganan disimulasikan dengan



manfaat yang bisa diperoleh, sehingga dapat ditentukan parameter *Benefit Cost (B/C) Ratio*, *IRR (Internal Rate of Return)* dan *NPV (Net Present Value)*. Ilustrasi contoh perhitungan analisis ekonomi dapat dilihat pada gambar 8.



**Gambar 8 Analisis Ekonomi Penanganan Sedimen Alternatif 4**

Dari hasil analisis ekonomi yang dilakukan, diperoleh nilai parameter B/C, IRR dan NPV yang berbeda dari masing-masing alternatif. Hasil perhitungan *Benefit Cost (B/C) Ratio*, *IRR (Internal Rate of Return)* dan *NPV (Net Present Value)* dari setiap alternatif dapat dilihat pada Tabel 10.

**Tabel 10. Hasil Analisis Ekonomi Alternatif Penanganan Sedimen**

Parameter Ekonomi	Sebelum Penanganan	Alternatif Penanganan Sedimen			
		Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
Total Biaya (Rp)	233,437,149,381	273,798,307,798	709,154,623,302	691,014,776,823	739,270,045,484
Total Manfaat (Rp)	638,110,216,641	710,155,439,933	710,155,439,933	710,155,439,933	710,155,439,933
B/C	2.73	2.59	1.00	1.03	0.96
IRR	307.70%	258.87%	7.32%	17.35%	-3.70%
NPV (Rp)	242,798,342,606	256,370,594,446	(4,496,802,099)	6,372,672,757	(46,034,317,674)

**KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian mengenai Kajian Ekonomi Penanganan Sedimen Pada Waduk Seri di Sungai Brantas (Sengguruh, Sutami dan Wlingi) dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Total laju sedimentasi pada ketiga waduk untuk rentang periode 20 tahun terakhir mencapai 1.7 juta m<sup>3</sup>/tahun. Pada tahun 2011 volume *gross storage* (tampungan kotor) Waduk Sengguruh sebesar 1.04 juta m<sup>3</sup> (4.81 % dari tampungan awal), Waduk Sutami sebesar 158.92 juta m<sup>3</sup> (46.33 % dari tampungan awal) dan Waduk Wlingi sebesar 4.49 juta m<sup>3</sup> (18.71 % dari tampungan awal).
2. Penanganan sedimen berupa pengerukan dan pengelontoran sedimen secara kontinu merupakan bentuk koreksi fisik jangka pendek yang dapat dilakukan pada ketiga waduk. Penanganan dapat dilakukan dalam 2 kondisi, kondisi pertama adalah penanganan yang sudah dilakukan saat

ini dan kondisi kedua dengan 4 (empat) alternatif penanganan sedimen yang dilaksanakan selama 10 tahun. Alternatif 1 adalah penanganan sedimen dengan volume 1 juta m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan Alternatif 2, Alternatif 3 dan Alternatif 4 adalah penanganan sedimen dengan volume penanganan sebesar 1.7 juta m<sup>3</sup>/tahun dengan perbedaan metode kerja sebagai parameter pembandingan.

3. Dari hasil analisis ekonomi yang dilakukan pada 4 alternatif penanganan sedimen diperoleh hasil sbb:
  - a. Biaya penanganan sedimen selama 10 tahun dengan kondisi seperti penanganan saat ini adalah sebesar Rp. 233.437 Milyar. Biaya untuk alternatif 1 sebesar Rp. 273.798 Milyar, alternatif 2 sebesar Rp. 709.154 milyar, alternatif 3 sebesar Rp.691.014 Milyar dan alternatif 4 sebesar Rp 739.27 Milyar.
  - b. Manfaat produksi listrik selama 10 tahun dengan kondisi saat ini adalah sebesar Rp. 638.11 Milyar. Total manfaat untuk alternatif 1, alternatif 2, alternatif 3, dan alternatif 4 sebesar Rp 710.15 Milyar.

- c. Alternatif 3 merupakan alternatif yang paling layak untuk dilaksanakan dengan karena secara matematis dapat mengimbangi laju sedimentasi yang terjadi dan secara ekonomis memiliki parameter paling menguntungkan, dimana Alternatif 3 memiliki nilai B/C = 1.03, IRR = 17.35% dan NPV = Rp. 6.37 Milyar.

**SARAN**

Berdasarkan pembahasan dan analisis yang dilakukan, terdapat beberapa masukan dan saran yang dapat dilakukan untuk menindaklanjuti penelitian ini, yaitu:

1. Untuk mempertahankan fungsi manfaat serta kondisi tampungan di ketiga waduk, perlu dilakukan penanganan sedimen yang seimbang dengan laju sedimentasi yang terjadi. Mengingat besarnya biaya yang diperlukan, maka realisasi volume penanganan sedimen untuk tahun-tahun

- mandatang perlu disesuaikan dengan besaran tarif listrik serta kemampuan keuangan dari Perum Jasa Tirta I sebagai pengelola ketiga waduk.
2. Perlu dilakukan peningkatan kinerja konservasi lahan serta realisasi dari upaya teknis sesuai rencana melalui pembangunan beberapa bendungan dan cek dam di hulu waduk sengguruh untuk mengurangi laju sedimentasi pada Waduk Sengguruh dan Sutami.
  3. Untuk penanganan jangka menengah, diperlukan penelitian lanjut mengenai metode alternatif lain penanganan sedimen di Waduk Sutami seperti pembuatan *sediment bypass tunnel* maupun pembuatan konstruksi *draw down outlet* untuk flushing.
  4. Terkait dengan terbatasnya kapasitas dan kondisi spoil bank yang tersedia, perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan pemanfaatan material hasil pengerukan agar kapasitas spoil bank yang ada dapat tetap dipertahankan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2005. *Report on Engineering Studies for the Brantas River and the Bengawan Solo River Basins*. Water Resources Existing Facilities Rehabilitation and Capacity Improvement Project (WREFR-CIP), Laporan Akhir, Direktorat Jenderal Sumberdaya Air, Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. 2011. *Laporan Akhir Pengukuran Echosounding Waduk Sengguruh*. Laporan Intern Perum Jasa Tirta I, Indonesia.
- Anonim. 2011. *Laporan Akhir Pengukuran Echosounding Waduk Sutami*. Laporan Intern Perum Jasa Tirta I, Indonesia.
- Anonim. 2011. *Laporan Akhir Pengukuran Echosounding Waduk Wlingi*. Laporan Intern Perum Jasa Tirta I, Indonesia.
- Azdan, M.D., & Samekto, C.R. 2008. “*Kritisnya Kondisi Bendungan di Indonesia*” Seminar Komite Nasional Indonesia untuk Bendungan Besar (KNI-BB). Surabaya-Indonesia.
- Kodoatie R.J., 1995. *Analisis Ekonomi Teknik*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Morris, G.L., Fan J. 1997. *Reservoir Sedimentation Handbook, Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use*, McGraw-Hill. Co, New York, USA
- Soekistijono. 2005. “*Erosion & Sedimentation Problems In The Upper Reach of Brantas River Basin and Its Countermeasures*”. First International Workshop on Water and Sediment Management in Brantas River Basin, Indonesia
- Soewarno. 1991. *Hidrologi, Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Penerbit NOVA, Indonesia
- Sumi T., Takemon Y. & Kantoush S.A. 2011. *Lighten the Load*. International Water Power & Dam Construction Magazine, hlm. 38-45.
- Suyanto A., Sunaryo T., Sjarief R. 2001. *Ekonomi Teknik Proyek Sumberdaya Air*. Penerbit Masyarakat Hidrologi.