

---

---

**BAB IV**

**EVALUASI SEDIMEN DI WADUK SELOREJO**

**DAN ALTERNATIF PENANGANANNYA**

**4.1. Tinjauan Umum**

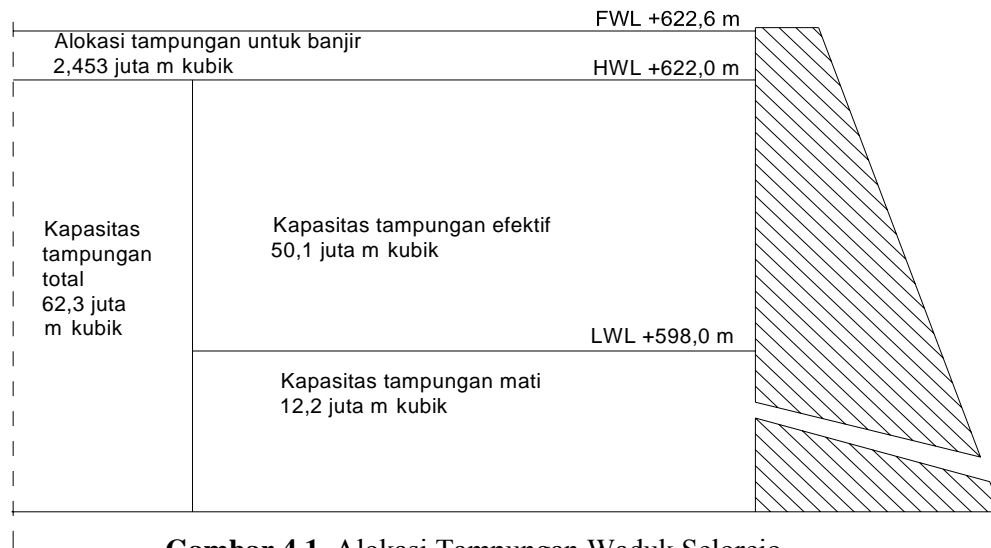
Sedimentasi adalah mengendapnya material fragmental oleh air sebagai akibat dari adanya erosi. (Ir. CD. Soemarto, BIE. Dipl. H, Hidrologi Teknik )

Waduk dibangun pada suatu alur sungai sebagai penampung air yang berfungsi antara lain sebagai pembangkit tenaga listrik, penyedia air irigasi, dan pengendali banjir. Setiap tahun, setiap hari, bahkan setiap saat waduk akan menerima beban sedimentasi yang berasal dari aliran sungai yang masuk ke dalam waduk tersebut. Sedimen yang masuk ke dalam waduk akan mengendap dan menyebabkan terjadinya pendangkalan waduk sehingga akan mempengaruhi perubahan kapasitas tampungan waduk tersebut.

Pola penyebaran sedimentasi di dasar waduk tergantung dari topografi waduk, ukuran butir sedimen, dan pola operasi waduk. Pengaruh sedimentasi terhadap berkurangnya volume waduk dapat menyebabkan berkurangnya volume efektif waduk dan tingkat operasional waduk.

Pada Bab 1 telah disebutkan bahwa debit air Waduk Selorejo berasal dari Kali Konto, Kali Kwayangan, dan Kali Pinjal. Selain membawa debit air, aliran dari sungai-sungai tersebut juga membawa material sedimen yang kemudian masuk ke dalam areal waduk. Pengamatan terhadap karakteristik dan penyebaran sedimentasi yang mengendap di dasar waduk sangat penting untuk dilakukan dalam hubungannya dengan daya tampung waduk untuk perencanaan pola pengoperasian waduk.

Untuk mengetahui besarnya kapasitas dan volume sedimentasi pada waduk, maka dilakukan pengukuran dengan metode *echo sounding*.



Gambar 4.1. Alokasi Tampungan Waduk Selorejo

## 4.2. Evaluasi Sedimen

### 4.2.1. Lokasi Pengukuran

Pengukuran dilakukan secara periodik, dimulai pada saat awal waduk digenangi pada tahun 1970 dengan tujuan untuk mengetahui bentuk kontur dasar waduk.

Lokasi pengukuran terletak di daerah genangan Waduk Selorejo yang terbagi menjadi beberapa penampang, yaitu :

- 25 penampang pada Kali Konto
- 17 penampang pada Kali Kwayangan

### 4.2.2. Pelaksanaan Pengukuran

#### a. Inventarisasi Titik Ikat (*Beacon Point*)

Sebelum dilakukan pengukuran *echo sounding*, perlu dilaksanakan terlebih dahulu penelusuran kondisi setiap *beacon point* atau patok yang tersebar di sekeliling daerah genangan waduk. Dengan demikian diharapkan gambaran secara menyeluruh tentang penyebaran, letak, dan kondisi

patok-patok akan diperoleh. Bila didapati patok-patok yang hilang dapat dengan segera dilakukan penggantian dan pengukuran ulang.

b. Pengukuran *echo sounding*

Pada dasarnya pengukuran *echo sounding* adalah pengukuran secara melintang (*cross section*). Pengukuran kedalaman dilakukan dengan metode pantulan gelombang ultrasonik yang dipancarkan secara tegak lurus permukaan air ke dasar oleh *transducer* (alat *echo sounder*) dan kemudian gelombang tersebut akan dipantulkan kembali ke *transducer*.

Rumus perhitungan kedalaman :

$$d = v \cdot t \dots\dots\dots(5.1)$$

Di mana :

d = kedalaman (m)

v = kecepatan gelombang (m/det)

t = waktu rambat gelombang (detik)

Tahap-tahap pengukuran *echo sounding* antara lain sebagai berikut :

1. Jalur pengukuran mengikuti patok-patok beton pada tepi waduk
2. Selama pengukuran, perahu berjalan dengan dipandu dari tepi waduk dengan bantuan alat *theodolith* agar perahu dapat bergerak pada jalur yang relatif lurus.
3. Sebelum dilakukan pengukuran, *echo sounder* terlebih dahulu dikalibrasi dengan cara membandingkan bacaan pada instrumen dengan kedalaman yang diukur dengan *bar check*. Selisih yang ada akan diperhitungkan sebagai faktor koreksi pada setiap pembacaan.
4. Alat *echo sounder* tersebut kemudian dioperasikan diatas perahu (*boat*) yang bergerak secara perlahan-lahan di atas jalur penampang pengukuran dari titik ikat / patok seberang menuju ke titik ikat / patok berdiri alat.
5. Berdasarkan pengukuran tersebut diperoleh beberapa data, antara lain : jarak antar titik, kedalaman air, dan tinggi muka air.
6. Tahapan pengolahan data yang dilakukan yaitu :
  - Perhitungan kapasitas waduk yang digambarkan dalam kurva hubungan antara elevasi terhadap volume waduk.

- Perhitungan volume efektif waduk dan volume tampungan banjir, yaitu berdasarkan kurva kapasitas awal waduk dibandingkan dengan kapasitas pada tahun 1993.

Berdasarkan kedua data tersebut di atas, maka besarnya pengurangan volume efektif dan volume tampungan banjir dapat diketahui.

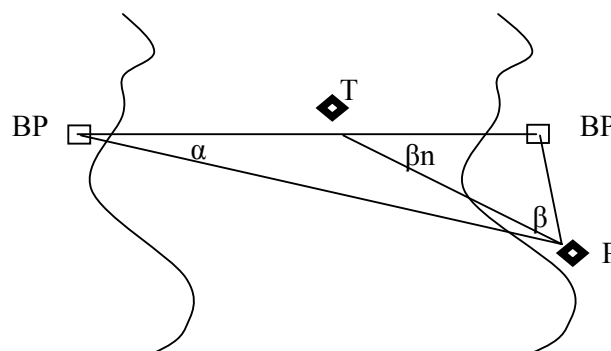
Perhitungan efektif waduk dapat dihitung berdasarkan perbedaan volume waduk pada elevasi tertinggi (HWL) dikurangi dengan elevasi muka air rendah (LWL).

Sedangkan volume tampungan banjir dihitung berdasarkan perbedaan volume waduk pada elevasi muka air banjir (FWL) dengan elevasi muka air tertinggi (HWL).

- Evaluasi terhadap data sedimen di waduk pada tahun 1993 dibandingkan dengan periode sebelumnya ( 1982 atau 1988 ).

Volume sedimen di waduk diukur berdasarkan perbedaan luas antara 2 penampang melintang dengan jarak memanjang antar as panjang dari penampang melintang.

Berdasarkan data tersebut di atas, maka evaluasi sedimentasi di waduk ditujukan terhadap pengurangan yang terjadi dari volume efektif waduk serta tampungan banjir.



**Gambar 4.2.** Skema Cara Pengukuran

Di mana :

BP1, BP2 = titik ikat (*beacon point*)

P = titik bantu

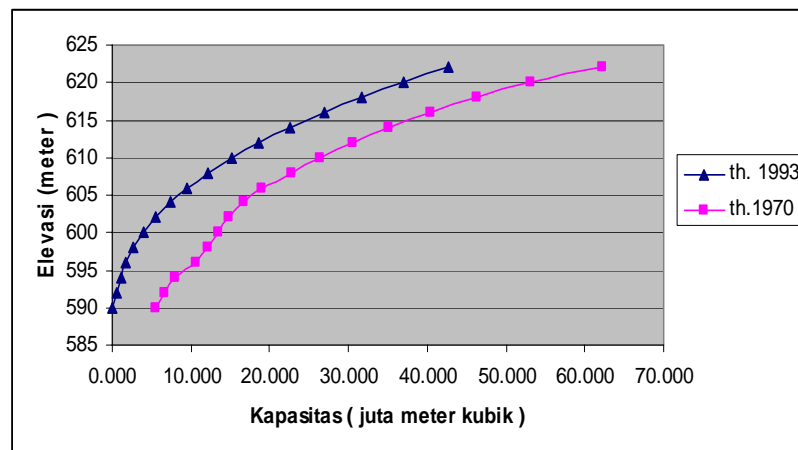
a = jarak BP1-BP2 (diukur dengan EDM)

- b = jarak BP1-P (diukur dengan rumus segitiga)
- $\alpha$  = diukur dengan *theodolith* yang ada di titik BP2
- $\beta$  = diukur dengan *theodolith* yang ada di titik BP1
- $\beta_n$  = diukur dengan alat *sextan*

**4.2.3. Hasil Pengukuran dan Perhitungan Sedimentasi**

Berdasarkan pengukuran dengan cara *echo sounding* pada tahun 1970 dan 1993 diperoleh hasil sebagai berikut :

- a. Volume efektif waduk



(Sumber : Perum Jasa Tirta I)

**Gambar 4.3.** Kurva Kapasitas Waduk Selorejo

Hasil pembacaan kurva kapasitas waduk Selorejo pada Grafik 4.1. “ Kurva Kapasitas Waduk Selorejo “ pada tahun 1993 menunjukkan hasil seperti yang tercantum dalam tabel berikut ini :

**Tabel 4.1.** Hasil Perhitungan Volume Efektif Waduk Selorejo Tahun 1970 dan 1993

Elevasi (m)	Volume ( juta m <sup>3</sup> )		Pengurangan Volume efektif ( juta m <sup>3</sup> )
	1970	1993	
HWL + 622,0	62,3	48,759	13,541
LWL + 598,0	12,2	4,246	7,954
<b>Volume Efektif</b>	<b>50,1</b>	<b>44,513</b>	<b>5,587</b>

(Sumber : Perum Jasa Tirta I)

Dibandingkan dengan kondisi awal, maka volume efektif pada tahun 1993 mengalami pengurangan volume sebesar 5,587 juta m<sup>3</sup>.

b. Volume Sedimen

**Gambar 4.4.** Peta Informasi Potongan Melintang Waduk Selorejo

**Tabel 4.2.** Volume Sedimen Tiap Penampang Melintang  
Waduk Selorejo - Blok Kali Konto (1970-1993)

Cross section	Volume Sedimen 1988-1993 (m <sup>3</sup> )	Volume Sedimen 1982-1988 (m <sup>3</sup> )	Volume Sedimen 1970-1977 (m <sup>3</sup> )
Kt. 0			
	83.438	-7.987	-53.500
Kt.2			
	401.577	23.964	-71.630
Kt.4			
	432.118	5.393	-14.318
Kt.6			
	197.304	14.429	91.885
Kt.8			
	105.750	34.719	71.345
Kt.10			
	182.925	25.553	-5.451
Kt.12			
	582.128	-29.183	-69.186
Kt.14			
	681.084	19.870	98.895
Kt.16			
	305.361	66.429	107.300
Kt.18			
	572.684	258.798	201.800
Kt.22			
	240.802	191.999	428.963
Kt.24			
	275.200	124.436	465.833
Kt.26			
	282.828	112.624	536.340
Kt.28			
	276.218	124.506	464.363
Kt.30			
	220.021	124.014	374.828
Kt.32			
	139.675	31.305	199.560
Kt.34			
	82.116	656	203.585
Kt.36			
	71.869	821	102.953
Kt.38			
	39.846	7.783	128.940
Kt.40			
	43.257	11.268	119.570
Kt.42			
	44.169	8.646	73.080
Kt.44			
	13.705	-5.538	48.600
Kt.46			
	3.851	-12.812	49.600
Kt.48			
	5.223	-11.417	37.650
Kt.50			
<b>Jumlah</b>	<b>5.283.150</b>	<b>1.120.274</b>	<b>3.591.005</b>

(Sumber : Perum Jasa Tirta I)

**Tabel 4.3.** Volume Sedimen Tiap Penampang Melintang  
Waduk Selorejo - Blok Kali Kwayangan (1970-1993)

Cross section	Volume Sedimen 1988-1993 (m <sup>3</sup> )	Volume Sedimen 1982-1988 (m <sup>3</sup> )	Volume Sedimen 1970- 1977 (m <sup>3</sup> )
Kw. 0			
	299.437	-63.569	-125.520
Kw.4			
	225.947	-44.630	-67.620
Kw.8			
	20.565	-4.441	63.450
Kw.12			
	185.467	-12.408	87.890
Kw.16			
	355.730	-54.943	17.085
Kw.24			
	517.737	68.649	19.375
Kw.36			
	256.839	16.380	-94.275
Kw.40			
	108.216	170.494	-41.250
Kw.42			
	148.640	281.940	-68.585
Kw.46			
	71.167	1.450	-88.200
Kw.48			
	48.910	7.359	-59.450
Kw.50			
	94.779	1.551	-72.050
Kw.52			
	72.318	4.114	-43.800
Kw.54			
	34.141	3.206	-39.428
Kw.56			
	30.196	3.041	-35.050
Kw.58			
	9.054	2.507	-6.825
Kw.60			
<b>Jumlah</b>	<b>2.479.144</b>	<b>380.699</b>	<b>-554.253</b>

(Sumber : Perum Jasa Tirta I)

**Tabel 4.4.** Perbandingan Volume Sedimen Waduk Selorejo  
Tahun 1970-1993

Sumber Sedimen	Volume Sedimen (m <sup>3</sup> )			
	1988-1993	1982-1988	1977-1982	1970-1977
K. Konto	5.283.150	1.120.274	707.704	3.591.005
K. Kwayangan	2.479.144	380.699	258.102	-554.253
<b>Jumlah</b>	<b>7.762.294</b>	<b>1.500.974</b>	<b>965.806</b>	<b>3.036.752</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>1.552.459</b>	<b>250.162</b>	<b>194.161</b>	<b>443.822</b>

Sumber : data tahun 1970 (Brabben, 1978),



data tahun 1977 (Brabben, 1978),  
 data tahun 1982 ( Perum Jasa Tirta, 1988),  
 data tahun 1988 ( Perum Jasa Tirta, 1988),  
 data tahun 1993 ( Puslitbang Pengairan, 1993).

**Tabel 4.5.** Hasil Perhitungan Volume Sedimen Waduk Selorejo  
 Tahun 1970 - 1993

No.	Periode	Volume Sedimen (m <sup>3</sup> )	Rata-rata/tahun (m <sup>3</sup> )
1	1970 – 1977	3.098.530	442.647
2	1977 – 1982	1.073.000	214.700
3	1982 – 1988	1.492.775	248.795
4	1988 – 1993	7.762.293	1.552.459
	<b>1970 – 1993</b>	<b>13.426.598</b>	<b>583.765</b>

(Sumber : Perum Jasa Tirta I)

Perbandingan hasil pengukuran sedimentasi di Waduk Selorejo pada tahun 1988-1993 menunjukkan volume sedimen rata-rata per tahun tertinggi, yaitu sebesar 1,55 juta m<sup>3</sup> per tahun. Kontribusi sedimentasi pada waduk tersebut sebagian besar berasal dari Kali Konto yang ternyata membawa angkutan sedimen lebih banyak dibandingkan dengan Kali Kwayangan.

### **4.3. Evaluasi Sedimen terhadap Kapasitas Tampungan Mati Waduk**

Dari hasil pengukuran sedimen yang tertampung di waduk Selorejo, diketahui adanya perubahan laju sedimentasi yang lebih besar dari laju sedimentasi rencana.

Untuk memperkirakan berapa tahun lagi besarnya sedimentasi melebihi tampungan mati waduk digunakan persamaan regresi linier, dengan cara mencari hubungan antara umur pemakaian dan jumlah sedimen yang tertampung.

Rumus :

$$Y = A + BX \dots\dots\dots(5.2)$$

$$A = \frac{\Sigma Y - B.\Sigma X}{n} \dots\dots\dots(5.3)$$

$$B = \frac{n\Sigma X.Y - \Sigma X.\Sigma Y}{n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \dots\dots\dots(5.4)$$

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \dots\dots\dots(5.5)$$

Di mana :

X = umur pemakaian

Y = volume sedimen kumulatif (x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)

n = jumlah data

r = faktor korelasi fungsi

**Tabel 4.6.** Perhitungan Regresi Sedimentasi Waduk Selorejo

No.	Tahun	Umur Pemakaian X	Volume Sedimen Kumulatif Y	X . Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	1971	1	0,443	0,443	1	0,196
2	1972	2	0,885	1,771	4	0,784
3	1973	3	1,328	3,984	9	1,763
4	1974	4	1,771	7,082	16	3,135
5	1975	5	2,213	11,066	25	4,898
6	1976	6	2,656	15,935	36	7,054
7	1977	7	3,099	21,690	49	9,601
8	1978	8	3,313	26,506	64	10,977
9	1979	9	3,528	31,751	81	12,446
10	1980	10	3,743	37,426	100	14,007
11	1981	11	3,957	43,531	121	15,660
12	1982	12	4,172	50,064	144	17,406
13	1983	13	4,421	57,471	169	19,544
14	1984	14	4,670	65,375	196	21,805
15	1985	15	4,918	73,776	225	24,191
16	1986	16	5,167	82,675	256	26,700
17	1987	17	5,416	92,072	289	29,333
18	1988	18	5,665	101,966	324	32,090
19	1989	19	7,217	137,128	361	52,089
20	1990	20	8,770	175,394	400	76,908
21	1991	21	10,322	216,766	441	106,547
22	1992	22	11,875	261,242	484	141,007
23	1993	23	13,427	308,823	529	180,287
Jumlah		<b>276</b>	<b>112,975</b>	<b>1823,937</b>	<b>4324</b>	<b>808,429</b>
Rata-rata			<b>4,912</b>			

Berdasarkan tabel di atas, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sum X &= 276 \\ \sum Y &= 112,975 \\ \sum X*Y &= 1823,937 \\ \sum X^2 &= 4324 \end{aligned}$$

$$\sum Y^2 = 808,429$$

$$n = 23$$

$$B = \frac{n \sum X.Y - \sum X . \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$B = \frac{23 * 1823,937 - 276 * 112,975}{23 * 4324 - 276^2}$$

$$B = 0,463$$

$$A = \frac{\sum Y - B . \sum X}{n}$$

$$A = \frac{112,975 - 0,463 * 276}{23}$$

$$A = -0,64$$

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X . \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

$$r = \frac{23 * 1823,937 - 276 * 112,975}{\sqrt{(23 * 4324 - 276^2)(23 * 808,429 - 112,975^2)}}$$

$$r = 0,924$$

$$Y = A + BX$$

$$Y = -0,64 + 0,463 . X$$

Dengan memasukkan harga kapasitas tampungan mati rencana waduk sebesar  $12,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ , maka dapat diketahui pada tahun beberapa laju sedimentasi sudah melebihi kapasitas tampungan mati waduk.

Perhitungan :

$$Y = 12,2$$

$$Y = A + B . X$$

$$12,2 = -0,64 + 0,463 . X$$

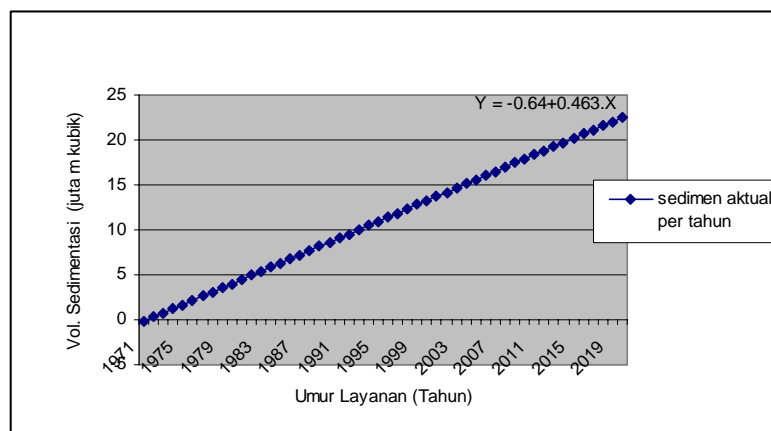
$$X = 27,732$$

$$= \text{tahun ke-28}$$

Laju sedimentasi Waduk Selorejo dapat dilihat dari tabel dan grafik di bawah ini :

**Tabel 4.7.** Hasil Perhitungan Persamaan Regresi Linear

X	Tahun	Y1	X	Tahun	Y1
1	1971	-0,177	26	1996	11,398
2	1972	0,286	27	1997	11,861
3	1973	0,749	28	1998	12,324
4	1974	1,212	29	1999	12,787
5	1975	1,675	30	2000	13,25
6	1976	2,138	31	2001	13,713
7	1977	2,601	32	2002	14,176
8	1978	3,064	33	2003	14,639
9	1979	3,527	34	2004	15,102
10	1980	3,99	35	2005	15,565
11	1981	4,453	36	2006	16,028
12	1982	4,916	37	2007	16,491
13	1983	5,379	38	2008	16,954
14	1984	5,842	39	2009	17,417
15	1985	6,305	40	2010	17,88
16	1986	6,768	41	2011	18,343
17	1987	7,231	42	2012	18,806
18	1988	7,694	43	2013	19,269
19	1989	8,157	44	2014	19,732
20	1990	8,62	45	2015	20,195
21	1991	9,083	46	2016	20,658
22	1992	9,546	47	2017	21,121
23	1993	10,009	48	2018	21,584
24	1994	10,472	49	2019	22,047
25	1995	10,935	50	2020	22,51



**Grafik 4.5.** Hubungan antara Umur Layanan dengan Volume Sedimen

Dari grafik 4.2. “ Hubungan antara Umur Layanan dengan Volume Sedimen “ dapat dilihat bahwa pada umur layanan ke-28 atau tepatnya pada tahun 1998, volume

sedimen menunjukkan angka sebesar 12,324 juta m<sup>3</sup> dan sudah melebihi kapasitas tampungan mati waduk sebesar 12,2 juta m<sup>3</sup>. Untuk itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk mengurangi laju pertambahan sedimentasi tersebut.

#### **4.4. Alternatif Penanganan Sedimentasi**

Upaya penanganan sedimentasi di Waduk Selorejo dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

a. Secara teknis, antara lain :

1. Pembuatan *check dam* di hulu waduk

Fungsi *check dam* antara lain :

- Menampung dan menahan sedimen dalam jangka waktu sementara atau tetap sehingga sedimen yang masuk ke dalam waduk dapat dikurangi jumlahnya.
- Mengatur kemiringan dasar sungai sehingga mencegah terjadinya penggerusan dasar sungai.

2. Perencanaan bangunan (*structures*) yang baik

Perencanaan bangunan harus direncanakan dan dibuat sebaik mungkin agar dapat dihindari terjadinya endapan sedimen di depan bukaan.

3. Pengerukan waduk

Pengerukan waduk yang dilakukan secara kontinyu dapat mengurangi endapan sedimen di waduk.

4. Membuat penahan/ pelindung lereng dengan konstruksi bronjong, tembok pasangan, tembok beton, dan lain-lain.

5. Pekerjaan drainase dengan cara pembuatan saluran-saluran air terbuka di lereng dengan konstruksi pasangan batu, beton, dan saluran tanah yang digebal.

b. Secara non teknis, antara lain :

1. Melakukan konservasi di daerah pengaliran sungai (DPS)

Konservasi dapat mengurangi terjadinya erosi pada DPS sehingga dapat mengurangi laju pembentukan sedimentasi.

2. Melakukan cocok tanam secara terasering

Hal tersebut biasa dilakukan pada daerah lereng pegunungan agar laju erosi pada lahan tersebut tidak terlalu tinggi.

3. Pengaturan penggunaan lahan

Penggunaan lahan memerlukan peraturan daerah atau undang-undang dengan tujuan agar penggunaan lahan dapat sesuai dengan fungsinya.

Usaha pengerukan waduk menggunakan kapal keruk sedang dilakukan mengingat kapasitas sedimen yang masuk ke dalam waduk sudah melampaui kapasitas mati waduk. Pengerukan waduk membutuhkan biaya yang sangat tinggi, oleh sebab itu harus dilakukan pengendalian sedimen di hulu sungai agar sedimen tidak masuk ke dalam waduk. Maka direncanakan untuk melakukan penanganan sedimentasi jangka menengah dengan cara membuat bangunan pengendali sedimen (*check dam*).