

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1. Sedimentasi**

Keandalan suatu waduk didefinisikan oleh Lensley (1987) sebagai besarnya peluang bahwa waduk tersebut mampu memenuhi kebutuhan yang direncanakan sesuai dengan usia layannya tanpa adanya kekurangan. Usia layan waduk dapat diperhitungkan dengan menetapkan seluruh jumlah waktu yang diperlukan oleh sedimen untuk mengisi volume tampungan matinya. 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 2.1.

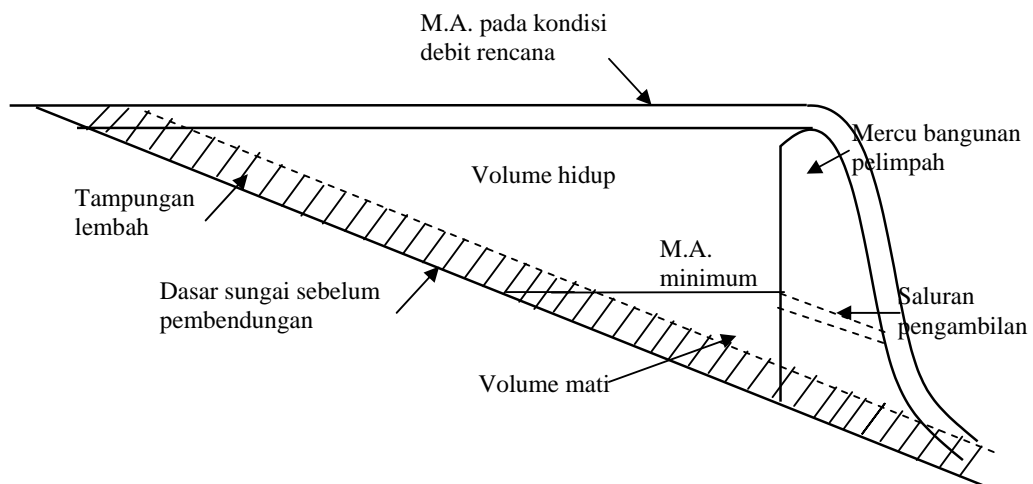
Secara geologi sedimen didefinisikan sebagai fragmen-fragmen material yang diendapkan oleh air atau angin. Sedimentasi merupakan kelanjutan dari proses erosi, oleh karena itu faktor-faktor yang mempengaruhi sedimentasi menurut Langbein ( Kironoto, 1996 ) faktor yang mempengaruhi volume sedimen yang masuk ke waduk adalah.

##### 1. Musim :

- a. curah hujan,
- b. run off.

2. Tumbuh-tumbuhan :
  - a. rimbun,
  - b. gersang.
3. Geologi dan sifat tanah permukaan.
4. Kemiringan tanah dan sungai.
5. Tata guna lahan..

Namun demikian pengetahuan mengenai kelima faktor tersebut tidak menjamin ketepatan perkiraan volume sedimen yang masuk ke waduk. Dari kelima faktor di atas yang paling berpengaruh terhadap besarnya sedimen di waduk adalah curah hujan tahunan.



**Gambar 2.1** Zona-zona Volume Suatu Waduk

## 2.2. Perkiraan Usia Guna ( *Useful Life* )Waduk

Usia guna waduk adalah masa manfaat waduk dalam menjalankan fungsinya, sampai terisi penuh oleh sedimen kapasitas tampungan matinya.

Dalam penelitian ini untuk memprediksikan usia guna waduk berdasarkan pada dua cara, yaitu :

**2.2.1 Perkiraan usia guna berdasarkan kapasitas tampungan mati ( *dead storage* ).**

Perhitungan ini berdasarkan pada berapa waktu yang dibutuhkan oleh sedimen untuk mengisi kapasitas tampungan mati. Dengan diketahui besarnya kapasitas tampungan mati dan besarnya kecepatan laju sedimen yang mengendap, maka akan diketahui waktu yang dibutuhkan sedimen untuk mengisi pada daerah tampungan mati. Semakin bertambah umur maka semakin berkurang kapasitas tampungan matinya, yang kemudian akan mengganggu pelaksanaan operasional waduk. Sehingga hal ini merupakan acuan untuk memprediksikan kapan kapasitas tampungan mati tersebut akan penuh.

**2.2.2 Perkiraan usia guna berdasarkan besarnya distribusi sedimen yang mengendap di tampungan dengan menggunakan *The Empirical Area Reduction Method*.**

Metode ini pertama kali diusulkan oleh Lane dan Koezler ( 1935 ), yang kemudian dikembangkan oleh Borland Miller (1958, dalam USBR,1973) dan Lara (1965, dalam USBR,1973). Dengan metode ini dapat diprediksi bagaimana sedimen terdistribusi di dalam waduk pada masa-masa yang akan datang.

Dalam perhitungan ini sebagai acuan untuk menentukan usia guna waduk berdasar pada hubungan fungsi antara luas genangan dengan elevasi genangan dan kapasitas tampungan. Sebagai patokan elevasi pintu pengambilan sebagai acuannya. Sehingga apabila elevasi pintu pengambilan akan dicapai oleh elevasi

endapan sedimen, maka kegiatan operasional waduk akan terganggu, yang pada akhirnya secara teknis akan mengakibatkan tidak berfungsinya waduk.

### **2.3. Pengendapan sedimen di waduk**

Nasib akhir dari semua waduk adalah terisi penuh oleh sedimen kapasitas tampungan matinya. Bila sedimen yang masuk lebih besar dibandingkan pada kapasitas tampungan mati waduknya, maka masa manfaat waduk tersebut akan pendek. Perencanaan waduk haruslah meliputi pertimbangan tentang kemungkinan laju pengendapan, untuk menetapkan apakah masa manfaat waduk yang direncanakan cukup untuk menjamin pembangunannya.

Pengendapan sedimen yang terjadi disuatu waduk dipengaruhi oleh :

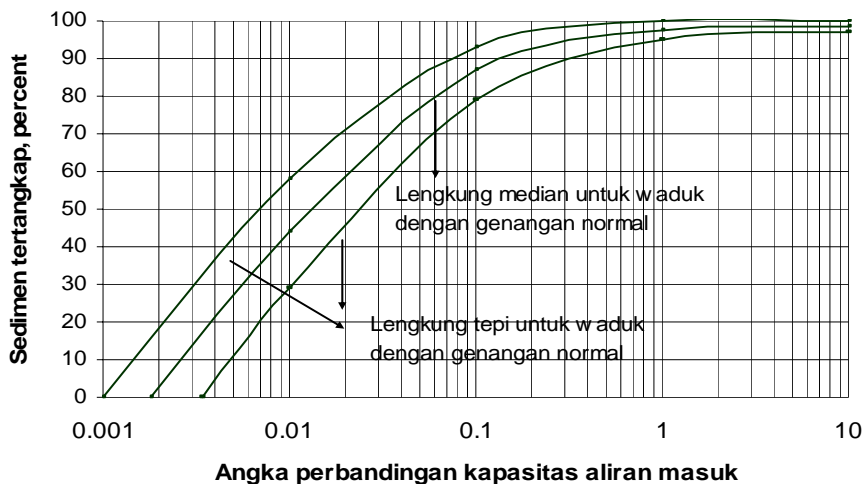
#### **2.3.1 Efisiensi tangkapan sedimen ( *Trap Efficiency* )**

Untuk menghitung jumlah sedimen yang tertahan atau mengendap di dalam waduk, yaitu dengan mencari besarnya *trap efficiency* yang didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah sedimen yang mengendap di waduk dengan total angkutan sedimen yang masuk ke dalam waduk ( Brune (1953) dalam USBR, 1973 ).

Dalam menggunakan metode ini dapat diperkirakan besarnya *trap efficiency* secara empiris didasarkan pada pengukuran endapan sedimen di beberapa waduk besar (Gunner Brune, 1953), bahwa besarnya *trap efficiency* tergantung dari perbandingan antara kapasitas tampung waduk dan jumlah air yang masuk ke waduk dalam setahun.

Untuk perhitungan ini dalam menentukan besarnya *trap efficiency*, terlebih dahulu ditentukan perbandingan antara kapasitas tampungan dengan inflow aliran

tahunan. Setelah diperoleh nilai perbandingan antara  $C/I$ , maka besarnya trap efficiency dapat dicari dengan menggunakan grafik ( Brune, 1953 ), hubungan antara *ratio of reservoir capacity to annual inflow* ( sumbu x ) dengan *sediment trapped percent* ( sumbu y ), lihat pada Gambar 2.2. Nilai *trap efficiency* akan berkurang sejalan dengan operasional waduk karena kapasitas waduk akan terus berkurang akibat sedimen.



**Gambar 2.2** Grafik Hubungan Capacity – Inflow Ratio

### 2.3.2 Berat Volume Kering

Besarnya angkutan sedimen yang masuk ke dalam waduk dinyatakan dalam satuan berat per satuan waktu yang dikonversikan ke dalam satuan volume per satuan waktu. Berat volume kering adalah masa sedimen kering dalam satuan volume. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi berat volume kering di waduk, antara lain:

1. Cara pengoperasian waduk.

2. Tekstur atau ukuran partikel sedimen.
3. Tingkat pemadatan.
4. Kemiringan dasar sungai.

Lara dan Pemberton ( USBR, 1973 ) menggolongkan jenis dari operasi waduk yang diklasifikasikan dalam Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Pembagian Tipe Waduk Berdasarkan Cara Operasinya

Tipe Waduk	Operasi Waduk
1	Sedimen selalu terendam atau hampir terendam
2	Umumnya draw down waduk sedang sampai besar
3	Waduk umumnya kosong
4	Sedimen dasar sungai

(Miller (1953) dalam USBR, 1973) mengusulkan suatu rumus integral pendekatan untuk menentukan berat volume kering rata-rata dari semua sedimen yang mengendap di dalam waduk selama waktu T tahun beroperasi.

$$W_T = W_1 + 0,4343 K \frac{T}{T - I} \ln T - I \quad \dots\dots\dots ( 2.1 )$$

$$K = K_c \cdot P_c + K_m \cdot P_m + K_s \cdot P_s \quad \dots\dots\dots ( 2.2 )$$

Dengan :

- $W_T$  = Berat volume kering setelah T tahun operasi waduk (  $kg/m^3$  ),
- $W_1$  = Berat volume kering mula-mula setelah T tahun konsolidasi (  $kg/m^3$  ),
- $K$  = Konstanta yang tergantung pada operasi waduk dan jenis material sedimen,
- $P_c, P_m, P_s$  = Persentase lempung, lumpur, pasir,
- $K_c, K_m, K_s$  = Koefisien konsolidasi lempung, lumpur, pasir.

Nilai  $K_c$ ,  $K_m$ ,  $K_s$ , untuk masing-masing tipe waduk dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** K Untuk Berbagai Waduk

Tipe waduk	$K_c$	$K_m$	$K_s$
1	256	91	0
2	135	29	0
3	0	0	0

Volume kering awal menurut Lara dan Pamberton dapat diestimasi dengan

persamaan :

$$W1 = W_c \cdot P_c + W_m \cdot P_m + W_s \cdot P_s \quad \dots\dots\dots ( 2.3 )$$

Dengan :

$W1$  = Berat volume kering mula-mula setelah 1 tahun konsolidasi (  $kg/m^3$  ).

$P_c, P_m, P_s$  = Persentase lempung, lumpur, pasir.

$W_c, W_m, W_s$  = Konstanta berat volume kering untuk lempung, lumpur dan pasir yang nilainya tergantung dari bentuk waduk, yang nilainya seperti tabel berikut :

**Tabel 2.3** W Untuk Penentuan Berat Volume Kering

Tipe waduk	$W_c$	$W_m$	$W_s$
1	416	1120	1550
2	561	1140	1550
3	641	1150	1550
4	961	1170	1550

**2.3.3 Distribusi sedimen di dasar waduk.**

Aliran air sungai yang membawa sedimen menuju ke waduk dengan kecepatan turbelensi yang besar dari aliran akan berangsur-angsur berkurang. Partikel melayang ( *suspended load* ) dengan partikel ukuran yang cukup besar dan sebagian dari muatan dasar ( *bed load* ) akan mengendap membentuk delta di bagian hulu waduk, partikel yang lebih kecil akan tetap melayang terangkut oleh

aliran dan akan mengendap lebih jauh di bagian hilirnya. Partikel-partikel yang lebih kecil lagi dapat tetap melayang dan sebagian darinya mungkin akan melewati waduk bersama-sama dengan aliran yang melalui alur buangan, turbin-turbin, atau pelimpah. Dengan adanya pengendapan sedimen karena proses tersebut, terbentuklah distribusi endapan sedimen di dalam waduk.

Disini distribusi endapan akan ditentukan dengan suatu metode yang dikenal dengan *the emperical area reduction method* sebagai dasar untuk menghitung besarnya distribusi sedimen.

Data yang diperlukan adalah volume sedimen yang mengendap dan data hubungan elevasi dengan luas dan kapasitas waduk. Data tersebut dapat diperoleh melalui informasi tentang pengukuran langsung dilapangan yang berupa pengukuran *echo sounding*.

Distribusi endapan sedimen di dalam waduk dipengaruhi oleh beberapa faktor.

1. Cara pengoperasian waduk.
2. Tekstur atau ukuran partikel sedimen.
3. Bentuk waduk.
4. Volume sedimen yang diendapkan di dalam waduk.

Dari empat faktor di atas, faktor bentuk waduk dianggap sebagai faktor yang paling penting dalam menentukan distribusi endapan sedimen dalam waduk. Bentuk waduk ditentukan berdasarkan hubungan antara parameter  $m$  seperti diperlihatkan dalam Tabel 2.4. Nilai  $m$  didefinisikan sebagai kemiringan (*slope*)



dari garis yang diperoleh dari plot data antara data kedalaman dengan data kapasitas waduk pada kertas logaritmik (Gambar 4.1).

**Tabel 2.4** Klasifikasi Waduk Berdasarkan Nilai *m*

Bentuk Waduk	Klasifikasi	<i>m</i>
1	Lake	3,5 - 24,5
2	Flood plain foot hill	2,5 - 3,5
3	Hill	1,5 - 2,5
4	Normality empty	1,0 - 1,5

Pada *empirical area-reduction method*, persamaan dasar yang digunakan adalah :

$$S = \int_0^{y_0} A \, dy + \int_{y_0}^H K \, a \, dy \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan :

- S = volume sedimen total yang diendapkan di waduk,
- 0 = elevasi dasar ( asli ) waduk,
- y<sub>0</sub> = elevasi dasar waduk setelah terjadi endapan sedimen (setelah T tahun),
- A = luas waduk,
- H = kedalaman total waduk ( pada muka air normal ),
- K = konstanta untuk mengkonversikan luas sedimen relatif ( a ) kedalam luas sedimen sebenarnya,
- a = luas sedimen relatif.

Dengan berdasar persamaan tersebut dan data empirik, diperoleh suatu persamaan sebagai berikut :

$$F = \frac{S - Vh}{H.Ah} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

- F = fungsi tanpa dimensi,
- S = volume sedimen total,
- Vh = volume waduk pada elevasi h,
- Ah = luas waduk pada elevasi h.

Untuk menentukan luas sedimen relatif ( $A_p$ ), Lara mengusulkan sebuah grafik *area design curve* ( Gambar 2.3 ) atau dengan menggunakan persamaan yang diperlihatkan pada tabel di bawah ini, sesuai dengan bentuk masing-masing waduk.

**Tabel 2.5** Persamaan Untuk Mencari  $A_p$

Bentuk Waduk	$A_p$ ( Borland dan Miller )	$A_p$ ( Lara )
I	$3,417 p^{1,5} (1 - p)^{0,2}$	$5,074 p^{1,85} (1 - p)^{0,35}$
II	$2,324 p^{0,50} (1 - p)^{0,40}$	$2,48 p^{0,57} (1 - p)^{0,41}$
III	$15,882 p^{1,10} (1 - p)^{2,30}$	$16,967 p^{1,15} (1 - p)^{2,32}$
IV	$4,232 p^{0,10} (1 - p)^{1,50}$	$1,486 p^{0,25} (1 - p)^{1,34}$

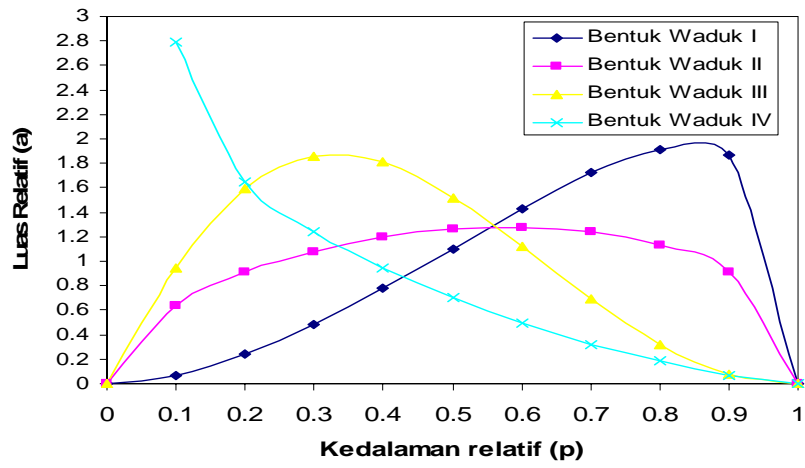
Dengan :

$A_p$  = luas sedimen relatif

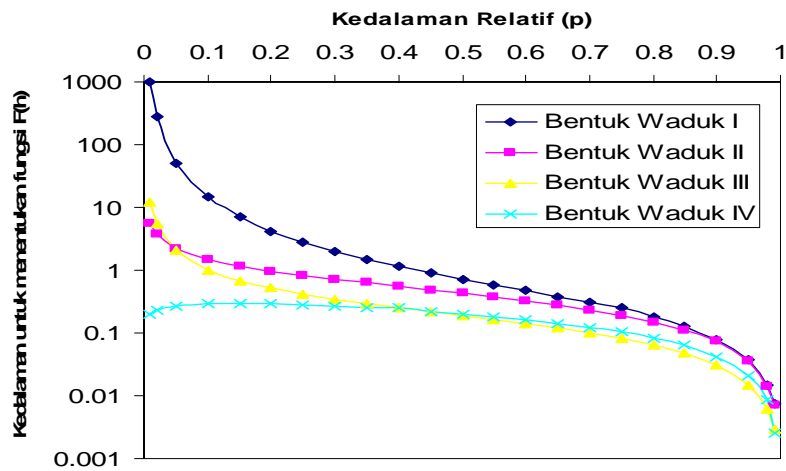
$P$  = Kedalaman relatif waduk diukur dari dasar

Sejak waduk beroperasi sampai dengan sekarang telah dilakukan pengukuran echo sounding. Data hasil pengukuran ini digunakan dalam penentuan distribusi endapan sedimen dan dianggap bahwa besar endapan sedimen yang masuk waduk pada tahun-tahun yang akan datang adalah tetap.

Elevasi *intake* digunakan sebagai acuan untuk menentukan usia guna waduk. Setelah jumlah endapan sedimen mencapai elevasi *intake* diketahui, kemudian melakukan hitungan untuk menentukan nilai fungsi tanpa dimensi  $F(h)$ , sehingga didapat grafik hubungan kedalaman relatif dengan nilai  $F(h)$  sampai berpotongan dengan grafik ( Gambar 2.4 ) dengan kedalaman relatifnya sama dengan kedalaman relatif pada elevasi *intake*.



Gambar 2.3 Grafik Area Design Curve



Gambar 2.4 Grafik Untuk Menentukan Elevasi Dasar Waduk Setelah T Tahun