

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Perencanaan Bendung Tetap**

Menurut Kumala, Y.E (2018), bendung tetap merupakan salah satu bangunan air yang terletak melintang sungai dengan ambang tetap berfungsi untuk meninggikan muka air sungai untuk dapat digunakan sebagai irigasi atau keperluan lainnya. Air yang berlebih akan disalurkan ke sungai kembali melewati bendung dan kolam olak yang berfungsi sebagai peredam energi. Perencanaan bendung tetap ini menggunakan debit banjir kala ulang 100 tahun dan perencanaan teknis meliputi: Perencanaan peredam energi tipe MDO, modifikasi MDO, dan perencanaan riprap.

##### **2.1.1 Bangunan Kolam Olak dan Peredam Energi Tipe MDO**

Menurut Kumala, Y.E (2018), bangunan peredam energi merupakan bagian dari bendung yang memiliki fungsi sebagai peredaman energi air yang timbul akibat pembendungan agar aliran air tidak menggerus dasar sungai yang dapat membahayakan kestabilan bendung dan kelengkapannya. Bangunan peredam energi ini biasanya dibangun pada hilir bendung. Adapun prinsip dari peredaman energi dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

1. Membuat atau menambah kekasaran pada penampang
2. Membentuk loncatan air
3. Menimbulkan gesekan air dengan penampang
4. Membenturkan air tersebut dengan bidang, air atau udara.

Bentuk dari peredam energi ada berbagai macam salah satunya adalah bentuk peredam energi lantai datar yang pada umumnya digunakan untuk bangunan bendung yang dibangun pada sungai yang memiliki angkutan sedimen dominan pasir dan kerikil. Terdapat beberapa pertimbangan dalam memilih tipe peredam energi, yaitu:

1. Jenis material dasar sungai yang terbawa aliran sungai.

2. Keadaan geoteknik tanah dasar seperti batuan, lapisan, dan diameter butir.
3. Tinggi pembendungan.
4. Kemungkinan degradasi dasar sungai yang akan terjadi di hilir bendung.
5. Kondisi aliran yang terjadi pada peredam energi (aliran sempurna/tidak sempurna), kedalaman konjugasi yang lebih rendah, lebih tinggi atau sama dengan kedalaman aliran air di hilir.

Pada bangunan peredam energi tipe MDO terdiri dari lantai yang datar, di ujung hilir dilengkapi dengan ambang akhir tipe gigi ompong dan dilengkapi dengan ribrap. Tipe ini merupakan modifikasi dari tipe Vlugter. Sebelum mendesain menggunakan tipe ini perlu ada parameter desain yang ditentukan yaitu:

1. Kemiringan bagian hilir bendung dibuat miring dengan perbandingan 1:m atau lebih tegak dari kemiringan 1:1.
2. Tubuh bendung dan peredam energi harus dilapisi dengan bahan yang tahan aus.
3. Tinggi air udik bendung dibatasi maksimum 4 meter.
4. Tinggi bendung maksimum adalah 10 meter.
5. Jari-jari kelengkungan bidang hilir ditentukan sebesar 1,0 m.
6. Ambang hilir berbentuk kotak persegi dengan ketinggian berselang-seling (gigi ompong).
7. Pada ambang hilir dipasang ribrap batu berdiameter 0,3-0,4 meter.

Dimensi hidraulik dari peredam energi tipe MDO ialah kedalaman lantai ( $D_s$ ), panjang lantai ( $L$ ), dan tinggi ambang ( $a$ ) yang ditentukan berdasarkan grafik MDO. Adapun langkah-langkah dalam mendesain peredam energi tipe MDO adalah :

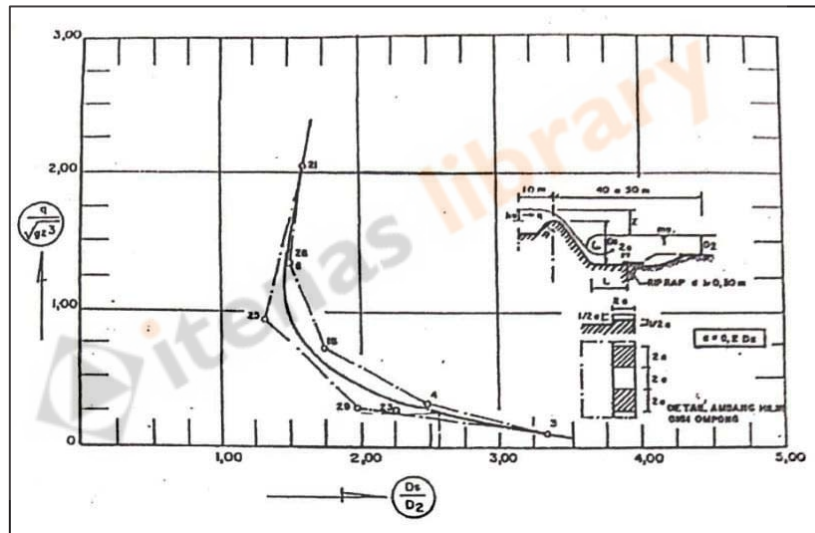
1. Menentukan debit desain persatuan lebar,

$$q = \frac{Q}{B_{eff}} \dots \dots \dots (2.1)$$

2. Menghitung tinggi terjun bangunan terjun,  $z$
3. Menghitung parameter tidak berdimensi,

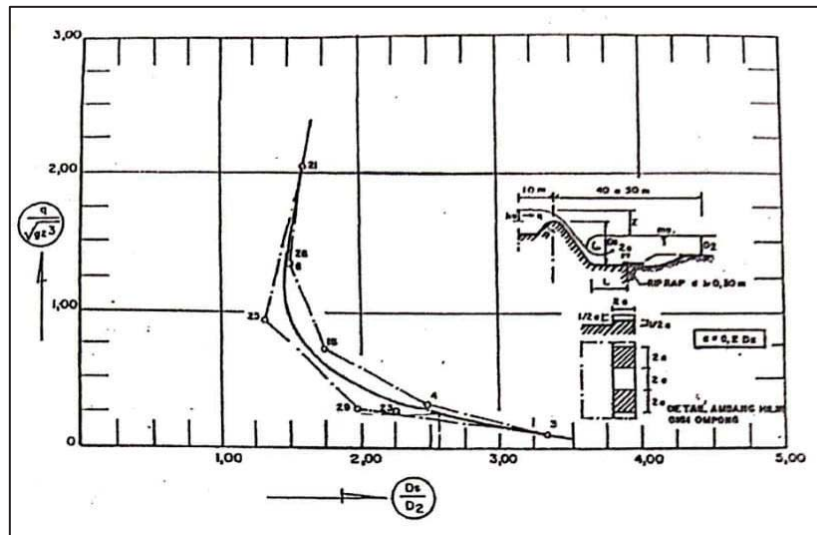
$$E = \frac{q}{\sqrt{g.z^3}} \dots\dots\dots (2.2)$$

4. Menentukan kedalaman lantai peredam energi ( $D_s$ ) diukur dari elevasi mercu bendung berdasarkan grafik MDO-1 (Gambar 2.1)
5. Menentukan panjang lantai peredam energi ( $L$ ) diukur dari titik potong bidang miring dan lantai berdasarkan grafik MDO-2 (Gambar 2.2)
6. Menentukan tinggi ambang ( $a$ ) berdasarkan persamaan berikut ini:  
 $a = 0,2 D_2 \dots\dots\dots (2.3)$   
 dengan nilai  $D_2$  adalah kedalaman air sungai di hilir pada saat debit banjir rencana (m)
7. Menentukan lebar ambang ( $b$ ) dengan nilai dua kali tinggi ambang.



**Gambar 2. 1** Grafik MDO-1

(Sumber : Kumala, Y.E, 2018)



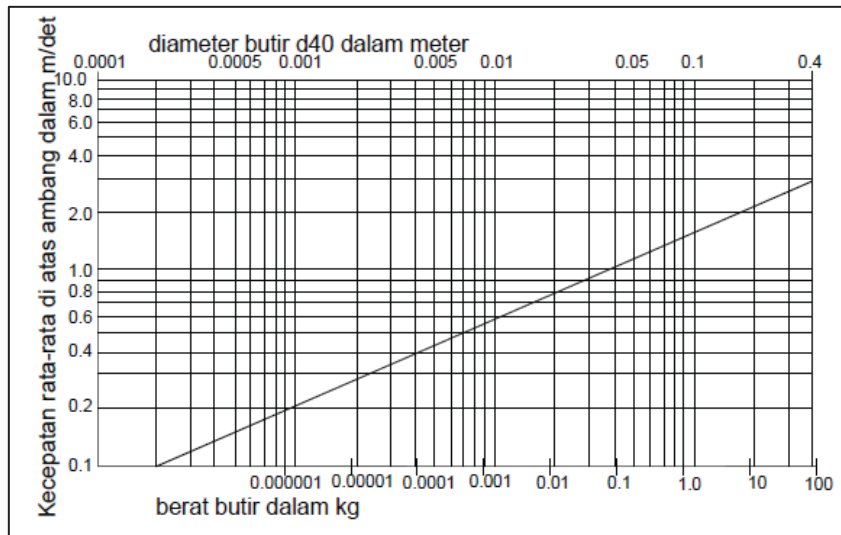
Gambar 2. 2 Grafik MDO-2

(Sumber : Kumala,Y.E, 2018)

### 2.1.2 Perencanaan Pasangan Batu Kosong (Rip-rap)

Menurut Kumala,Y.E (2018), rip-rap merupakan susunan batuan alam atau bongkahan beton buatan dengan ukuran tertentu yang digunakan sebagai tambahan peredam energi di hilir bendung dan dapat juga berfungsi sebagai lapisan tambahan untuk mengurangi kedalaman gerusan setempat yang berada di hilir bendung. Diameter batu yang akan dipakai untuk pasangan ini dapat ditentukan dengan menggunakan Gambar 2.3 dengan data yang diperlukan adalah kecepatan rata-rata di atas ambang kolam. Batu yang dapat digunakan untuk pasangan baru kosong ialah harus keras, padat, awet, dan memiliki berat jenis 2,4. Adapun kriteria dari lindungan harus dibuat sebagai berikut:

1. Panjang tidak kurang dari 4 kali kedalaman normal maksimum di saluran hilir
2. Panjang tidak lebih pendek dari peralihan tanah yang terletak antara bangunan dan saluran
3. Panjang tidak kurang dari 1,50 meter
4. Tebal lapisan sebaiknya diambil 2 sampai 3 kali  $d_{40}$  berdasarkan Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Grafik untuk perencanaan ukuran pasangan batu kosong  
(Sumber : Kriteria Perencanaan 04 - Bangunan Utama)

## 2.2 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dibutuhkan untuk menganalisis data curah hujan untuk diperoleh debit banjir rencana. Analisis hidrologi ini berdasarkan data curah hujan dan debit yang terbaru sesuai dengan pengukuran di lapangan. Data tersebut akan digunakan untuk analisis perencanaan peredam energi dan dapat digunakan sebagai data debit untuk pengujian model fisik yang akan dilakukan.

### 2.2.1 Parameter Statistik

Menurut Triatmodjo (2008), dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata-rata ( $\bar{X}$ ), simpangan baku ( $s$ ), koefisien *skewness* ( $C_s$ ), koefisien kurtosis ( $C_k$ ) dan koefisien variasi ( $C_v$ ).

1. Rata-rata (*mean*) adalah suatu parameter nilai tengah yang paling sering muncul dan dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i \dots\dots\dots (2.4)$$

2. Simpangan baku atau bisa disebut deviasi standar adalah suatu parameter yang memberikan nilai persebaran data yang diukur dengan varian. Simpangan baku dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.5)$$

3. Koefisien skewness adalah parameter nilai yang menunjukkan ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi nilai tertentu. Koefisien skewness dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$Cs = \frac{n \sum(X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \dots\dots\dots (2.6)$$

4. Koefisien kurtosis adalah parameter yang digunakan untuk mengukur keruncingan dari suatu kurva distribusi nilai tertentu. Koefisien kurtosis dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$Ck = \frac{n^2 \sum(X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \dots\dots\dots (2.7)$$

5. Koefisien variasi adalah parameter nilai perbandingan antara simpangan baku dengan nilai rata-rata. Koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$Cv = \frac{s}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.8)$$

### 2.2.2 Pemilihan Distribusi Teoritis dengan Uji Chi-Kuadrat

Menurut Soewarno (1995), uji Chi-kuadrat digunakan untuk menentukan persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili atau tidak dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Uji Chi-Kuadrat adalah salah satu uji statistic non-parametik (distribusi dimana besaran – besaran populasi tidak diketahui) yang cukup sering digunakan dalam penelitian yang menggunakan dua variable, dimana skala data kedua variabel adalah nominal atau untuk menguji perbedaan dua atau lebih proporsi sampel. Pengambilan keputusan uji menggunakan parameter  $\chi^2$  yang dapat dihitung dengan rumus:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^0 \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

$\chi^2$  = parameter chi-kuadrat terhitung

N = jumlah data

O<sub>i</sub> = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke i

E<sub>i</sub> = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke i

$$G = \text{jumlah sub kelompok} \\ = 1 + 1,33 \ln N \dots \dots \dots (2. 10)$$

Peluang untuk mencapai nilai  $\chi^2$  sama atau lebih besar dari pada nilai chi-kuadrat yang sebenarnya ( $\chi^2$ ) dapat dilihat pada Tabel 2.1. Prosedur uji Chi-Kuadrat adalah:

1. Urutkan data pengamatan (dari terbesar ke terkecil atau sebaliknya);
2. Kelompokkan data menjadi sub kelompok G, dengan setiap kelompok minimal 4 data pengamatan;
3. Tentukan derajat kebebasan dengan rumus:

$$dk = G - R - 1 \dots \dots \dots (2. 11)$$

dengan:

G = jumlah sub kelompok

R = 2 (untuk distribusi normal dan binomial)

R = 1 (untuk distribusi Poisson dan Gumbel)

4. Tentukan nilai  $E_i = \frac{\text{jumlah data}}{\text{jumlah sub kelompok}} \dots \dots \dots (2. 12)$

5. Tentukan nilai  $O_i$  untuk setiap sub kelompok;
6. Jumlahkan seluruh nilai ( $O_i - E_i$ ) untuk menentukan nilai chi-kuadrat hasil hitungan.

**Tabel 2. 1 Tabel Nilai Kritis Chi-Kuadrat**

DK	$\alpha$ Derajat Kepercayaan						
	0,995	0,99	0,975	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,01	0,0201	0,0506	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,233	1,690	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	24,996	27,488	30,578	32,801

### 2.2.3 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi merupakan rangkaian analisis hidrologi yang menghitung kemungkinan tinggi hujan yang terjadi dalam kala ulang tertentu. Adapun tujuan dari analisis frekuensi data hidrologi adalah untuk menghitung besaran atau peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan.

Terdapat beberapa jenis distribusi statistik yang dapat dipakai untuk menentukan besarnya curah hujan rencana, seperti distribusi Gumbel, Log Pearson III, Log Normal, dan beberapa cara lain. Metode–metode ini harus diuji mana yang bisa dipakai dalam perhitungan. Secara umum nilai besaran yang diharapkan adalah sebagai berikut:

$$X_T = \bar{x} + k \cdot s \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

$X_T$  = Besaran yang terjadi untuk periode ulang tertentu

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata

$k$  = Faktor frekuensi

$s$  = Simpangan baku

Faktor frekuensi merupakan fungsi dari periode ulang menurut distribusi frekuensi yang digunakan. Jenis distribusi yang digunakan untuk penelitian ini adalah distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson Tipe III.

#### 2.2.3.1 Distribusi Normal

Distribusi Normal adalah simetris terhadap sumbu vertikal dan berbentuk lonceng yang disebut juga distribusi Gauss. Sri Harto (1993), memberikan sifat-sifat distribusi normal, yaitu nilai koefisien kemencengan (*skewness*)  $C_s \approx 0$  dan nilai koefisien kurtosis  $C_k \approx 3$ . Secara umum faktor frekuensi pada metode distribusi normal ini dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$P(t) = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$W = \sqrt{\ln \frac{1}{[P(t)]^2}} \dots\dots\dots (2.15)$$



$$K_N = W - \left( \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \right) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana nilai:

$$\begin{array}{ll} C_0 & = 2,515517 & d_1 & = 1,432788 \\ C_1 & = 0,802853 & d_2 & = 0,189269 \\ C_2 & = 0,010328 & d_3 & = 0,001308 \end{array}$$

### 2.2.3.2 Distribusi Log Normal

Menurut Singh (1992), jika variabel acak  $y = \log x$  terdistribusi secara normal, maka  $x$  dikatakan mengikuti distribusi Log Normal. Sebaran log normal merupakan hasil transformasi dari sebaran normal dengan mengubah nilai varian  $X$  menjadi nilai logaritmik varian  $X$ .

$$\text{Log}X_T = \overline{\log X} + K_T \cdot S \cdot \overline{\log X} \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan:

- $\text{Log}X_T$  = Besarnya curah hujan untuk periode ulang  $T$  tahun logaritmik  
 $\overline{\log X}$  = Rata-rata curah hujan logaritmik (mm)  
 $S \cdot \overline{\log X}$  = Standar deviasi logaritmik  
 $K_T$  = *Standard variable* untuk periode ulang  $T$  tahun yang diberikan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 di bawah ini.

**Tabel 2. 2** Tabel  $K_T$  Fungsi dari CV

Koefisien Variasi (CV)	Peluang Kumulatif P(%) : P(X<=X)					
	50	80	90	95	98	99
	Periode Ulang (Tahun)					
	2	5	10	20	50	100
0,05	-0,025	0,833	1,297	1,686	2,134	2,457
0,1	-0,050	0,822	1,308	1,725	2,213	2,549
0,15	-0,074	0,809	1,316	1,76	2,290	2,261
0,2	-0,097	0,793	1,32	1,791	2,364	2,772
0,25	-0,119	0,775	1,321	1,818	2,432	2,881
0,3	-0,141	0,765	1,318	1,841	2,502	2,987
0,35	-0,160	0,733	1,313	1,86	2,564	3,089
0,4	-0,179	0,710	1,304	1,875	2,621	3,187
0,45	-0,196	0,687	1,292	1,885	2,673	3,280
0,5	-0,211	0,663	1,278	1,891	2,72	3,367
0,55	-0,225	0,638	1,261	1,893	2,761	3,449

**Tabel 2. 3** Tabel  $K_T$  Fungsi dari CV (Lanjutan)

0,6	-0,238	0,613	1,243	1,892	2,797	3,521
0,65	-0,219	0,588	1,223	1,887	2,828	3,393
0,7	-0,258	0,563	1,201	1,879	2,853	3,366
0,75	-0,267	0,539	1,178	1,868	2,874	3,712
0,8	-0,274	0,512	1,155	1,854	2,889	3,762
0,85	-0,280	0,491	1,131	1,839	2,900	3,806
0,9	-0,285	0,469	1,106	1,821	2,907	3,814
0,95	-0,290	0,477	1,081	1,802	2,910	3,876
1	-0,293	0,425	1,056	1,782	2,910	3,904

(Sumber : Soemarto, 1999)

### 2.2.3.3 Distribusi Gumbel

Menurut Soemarto (1987), faktor frekuensi ( $K$ ) untuk distribusi Gumbel adalah sebagai berikut:

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{s_n} \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan :

$Y_T$  = *Reduce variate* dari variate yang digarapkan terjadi pada periode ulang  $T$  tahun.

$Y_n$  = *Reduce mean* yang besarnya tergantung sampel  $n$

$s_n$  = *Reduce standard deviation* yang besarnya tergantung sampel  $n$

Untuk parameter nilai *reduced variate* ( $Y_T$ ), *reduced mean* ( $Y_n$ ), dan *reduced standard deviation* ( $s_n$ ) ditunjukkan pada Tabel 2.4, Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

**Tabel 2. 4** *Reduced Variate* ( $Y_T$ )

Periode Ulang, $T$ (tahun)	<i>Reduce Variate</i>
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001
200	5,2960
500	6,2140
1000	6,9190

(Sumber : Soemarto, 1999)

**Tabel 2. 5 Reduced Mean ( $Y_n$ )**

n	$Y_n$	n	$Y_n$
10	0,4952	25	0,5300
11	0,4996	30	0,5363
12	0,5035	35	0,5400
13	0,5070	40	0,5463
14	0,5100	45	0,5468
15	0,5128	50	0,5485
16	0,5157	60	0,5521
17	0,5181	70	0,5548
18	0,5202	80	0,5569
19	0,5220	90	0,5586
20	0,5263	100	0,5600

(Sumber : Soemarto, 1999)

**Tabel 2. 6 Reduced Mean ( $s_n$ )**

n	$S_n$	n	$S_n$
10	0,9496	25	1,0915
11	0,9676	30	1,1124
12	0,9833	35	1,1285
13	0,9971	40	1,1413
14	1,0095	45	1,1519
15	1,0206	50	1,1607
16	1,0316	60	1,1747
17	1,0411	70	1,1854
18	1,0493	80	1,1938
19	1,0565	90	1,2007
20	1,0628	100	1,2065

(Sumber : Soemarto, 1999)

#### 2.2.3.4 Distribusi Log Pearson III

Sebaran Log-Pearson tipe III banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. *The Hydrology Committee of Water Resources Council, USA* menganjurkan untuk mengubah data ke nilai logaritma dalam menghitung debit banjir rencana, kemudian menghitung parameter-parameter statistiknya. (Soemarto, 1987).

Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Mengubah data debit banjir tahunan  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  menjadi  $\log X_1, \log X_2, \log X_3, \dots, \log X_n$ .

2. Menghitung nilai rata-rata dengan rumus berikut ini:

$$\overline{\log(X)} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i)}{n} \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

$\overline{\log(X)}$  = Nilai rata-rata logaritmik

$n$  = Jumlah data

$X_i$  = Nilai curah hujan tiap tahun

3. Menghitung standar deviasi dengan rumus berikut ini:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\log(X_i) - \overline{\log(X)}]^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.20)$$

4. Menghitung koefisien kemencengan (*skewness coefficient*) dengan rumus berikut ini:

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^n [\log(X_i) - \overline{\log(X)}]^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \dots\dots\dots(2.21)$$

5. Menghitung logaritma debit dengan periode ulang yang dikehendaki dengan rumus berikut:

$$\log(X_T) = \overline{\log(X)} + K.Sd \dots\dots\dots(2.22)$$

Nilai K dapat dilihat pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7 yang merupakan hubungan antara  $C_s$  dan periode ulang.

6. Menghitung antilog dari  $\log(X_T)$  untuk mendapatkan debit rencana dengan periode ulang tertentu.

**Tabel 2. 7** Tabel Nilai K

Koefisien Kemencengan ( $C_s$ )	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3.0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2.5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2.2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2.0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1.8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1.6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390

**Tabel 2. 8** Tabel Nilai K (Lanjutan)

1.4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1.2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1.0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0.9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0.8	-0,132	0,780	1,336	2,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0.7	-0,116	0,790	1,333	2,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0.6	-0,099	0,800	1,328	2,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0.5	-0,083	0,808	1,323	2,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0.4	-0,066	0,816	1,317	2,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0.3	-0,050	0,824	1,309	2,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0.2	-0,033	0,830	1,301	2,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0.1	-0,017	0,836	1,292	2,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0.0	0,000	0,842	1,282	2,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0.1	0,017	0,836	1,270	2,761	2,000	2,252	2,482	3,950
-0.2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0.3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0.4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0.5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0.6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0.7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0.8	0,132	0,856	1,166	1,488	1,606	1,733	1,837	2,035
-0.9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1.0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1.2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1.4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1.6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,200	1,216	1,280
-1.8	0,282	0,799	0,945	0,035	1,069	1,089	1,097	1,130
-2.0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	1,995	1,000
-2.2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2.5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3.0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

(Sumber : Soemarto, 1999)

### 2.3 Loncatan Air

Menurut Triatmodjo (2008), loncatan air merupakan perubahan tipe aliran pada saluran dari aliran superkritis menjadi subkritis. Loncatan air biasa terjadi ketika kemiringan dasar saluran yang curam menjadi kemiringan yang landai atau pada bendung biasanya terjadi pada kaki bendung. Perubahan kemiringan tersebut

berakibat pada perubahan kecepatan itu sendiri. Terdapat beberapa tipe-tipe loncatan air yang dibedakan berdasarkan bilangan Froude ( $Fr$ ) berdasarkan penelitian oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR), yaitu:

1. Bilangan Froude ( $Fr$ ) = 1, aliran kritis, sehingga tidak terbentuk loncatan.
2. Bilangan Froude ( $Fr$ ) = 1 - 1,7, terjadi ombak pada permukaan air, dan loncatan yang terjadi dinamakan loncatan berombak.
3. Untuk bilangan Froude ( $Fr$ ) = 1,7 sampai 2,5, terbentuk rangkaian gulungan ombak pada permukaan loncatan, tetapi permukaan air di hilir tetap halus. Secara keseluruhan kecepatannya seragam, dan rugi energinya kecil dan dinamakan loncatan lemah.
4. Untuk bilangan Froude ( $Fr$ ) = 2,5 sampai 4,5, terdapat semburan berisolasi menyertai dasar loncatan bergerak ke permukaan dan kembali lagi tanpa perioda tertentu. Loncatan ini dinamakan loncatan berisolasi.
5. Untuk bilangan Froude ( $Fr$ ) = 4,5 sampai 9,0, ujung-ujung permukaan hilir akan bergulung dan titik dimana kecepatan semburannya tinggi cenderung memisahkan diri dari aliran. Loncatan semacam ini sangat seimbang dan karakteristiknya adalah yang terbaik. Loncatan ini dinamakan loncatan tetap.
6. Untuk bilangan Froude ( $Fr$ ) = 9 dan yang lebih besar, kecepatan semburan yang tinggi akan memisahkan hempasan gelombang gulung dari permukaan loncatan, menimbulkan gelombang – gelombang hilir dan loncatan ini disebut loncatan kuat.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D}} \dots\dots\dots (2.23)$$

Beberapa karakteristik dasar loncatan air pada saluran terbuka (V.T. Chow, 1985) :

1. Kehilangan energi pada loncatan adalah sama dengan perbedaan energi spesifik sebelum dan sesudah terjadinya loncatan.

$$\Delta E_s = E_{s1} - E_{s2} = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2} \dots\dots\dots (2.24)$$

2. Efisiensi loncatan hidraulik adalah perbandingan energi spesifik setelah loncatan air dengan sebelum loncatan hidraulik air. Besarnya efisiensi loncatan adalah :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{(8Fr^2+1)^{3/2}-4Fr^2+1}{8Fr^2(2+Fr^2)} \dots\dots\dots (2.25)$$

3. Kedalaman sebelum dan sesudah loncatan air adalah kedalaman konjugasi.
4. Perbedaan kedalaman sebelum dan sesudah loncatan dinamakan tinggi loncatan dengan menyatakan setiap besaran sebagai rasio terhadap energi spesifik semula.

$$h = y_2 - y_1 \dots\dots\dots (2.26)$$

## 2.4 Gerusan

Aliran sungai biasanya mengakibatkan proses penggerusan/erosi dan endapan sedimen/deposisi. Gerusan merupakan suatu proses alamiah yang terjadi di sungai sebagai akibat pengaruh morfologi sungai (dapat berupa tikungan atau bagian penyempitan aliran sungai) atau adanya bangunan air seperti: jembatan, bendung, pintu air, dll. Bendung yang merupakan salah satu bangunan air ini dapat menyebabkan perubahan karakteristik aliran karena adanya peninggian muka air dan dapat terjadinya gerusan.

Raudkivi dan Ettema (1982) dalam Gunawan (2006:10) membedakan tipe gerusan adalah sebagai berikut :

1. Gerusan umum di alur sungai, tidak berkaitan sama sekali dengan ada atau tidaknya bangunan sungai.
2. Gerusan lokal di alur sungai, terjadi karena penyempitan aliran sungai menjadi terpusat.
3. Gerusan lokal di sekitar bangunan, terjadi karena pola aliran lokal di sekitar bangunan sungai.

Gerusan yang dihasilkan secara langsung akibat adanya suatu bangunan dapat dinamakan gerusan lokal. Proses terjadinya gerusan lokal biasanya dipicu oleh tertahannya angkutan sedimen yang dibawa bersama aliran oleh struktur

bangunan dan peningkatan turbulensi aliran akibat gangguan suatu struktur. Dampak dari terjadinya gerusan lokal harus diperhatikan karena sangat berpengaruh pada penurunan dari stabilitas bangunan air (bendung).

## 2.5 Studi Model Fisik

Perencanaan model fisik yang digunakan untuk menirukan kondisi nyata di lapangan dengan skala tertentu dengan teori mendasar terkait perencanaan teknis model. Model fisik dapat dibagi menjadi dua, yaitu model tak distorsi dan model distorsi. Model tak distorsi bentuk dari sebuah prototip dan model sama tetapi dibedakan berdasarkan skala tertentu. Bentuk dari model tak distorsi lebih mudah ditransfer kedalam bentuk prototip. Skala besaran dan parameter model taak distorsi ditunjukkan pada Tabel 2.8. Pada model distorsi bentuk dari sebuah prototip dan model tidak sama. Model ini banyak digunakan apabila prototip mempunyai dimensi horizontal jauh lebih besar dari dimensi vertikal. Dalam perencanaan model prototip perlu diperhatikan beberapa faktor berikut ini:

- a. Ruang yang tersedia untuk membuat model,
- b. Kemampuan fasilitas suplai fluida,
- c. Kemampuan alat ukur,
- d. Cakupan dan jangkauan penyelidikan,
- e. Ketelitian yang dikehendaki,
- f. Ukuran prototip,
- g. Pelaksanaan pembuatan model.

**Tabel 2. 9** Skala besaran model tak distorsi

Parameter	Lambang Notasi	Skala Besaran
Panjang/Tinggi	$L/h$	$n_L = n_h$
Volume	$V$	$n_V = n_h^3$
Debit	$Q$	$n_Q = n_h^{5/2}$
Kecepatan aliran	$v$	$n_v = n_h^{1/2}$
Waktu aliran	$t$	$n_t = n_h^{1/2}$
Diameter butiran	$d$	$n_d = n_h$
Kekasaran	$k$	$n_k = n_h$
Koef. Chezy	$C$	$n_C = 1$
Koef. Manning	$n$	$n_n = n_h^{1/6}$