

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

Tinjauan pustaka merupakan dasar-dasar atau landasan teori yang akan dijadikan acuan pedoman dalam menganalisis data pendukung dan merencanakan suatu konstruksi atau bangunan. Untuk merencanakan konstruksi dam penahan sedimen Kali Gendol, yang dijadikan referensi atau pedoman adalah buku-buku hidrologi, teknik persungai atau bangunan air, catatan kuliah, perencanaan bangunan pengendali sedimen / *sabo desain* dan referensi-referensi lain yang mendukung.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya sabo dam adalah bangunan pengaman alur sungai yang dibuat adanya aliran air dan tumpukan material sedimen. Hal pokok lain dalam perencanaan sabo dam adalah sejauh mana sedimen yang larut mampu ditahan oleh bangunan ini. Prinsip stabilitas yang paling penting dalam perencanaan bangunan sabo dam adalah stabilitas bangunan terhadap gaya guling, gaya geser, yang ada pada bangunan yang ada untuk mencegah kerusakan yang ditimbulkan oleh aliran lahar dingin.

2.2. ANALISA HIDROLOGI

Sebelum merencanakan konstruksi dam pengendali sedimen, langkah pertama yang dilakukan adalah merencanakan debit banjir rencana yang akan digunakan. Data-data hidrologi yang diperoleh dianalisis untuk memperoleh besarnya debit banjir rencana dengan periode ulang tertentu yang dapat dialirkan tanpa membahayakan lingkungan sekitar dan stabilitas bangunan sungai. Berikut ini akan diuraikan secara singkat metode-metode analisis hidrologi.

2.2.1. Metode Perhitungan Curah Hujan Daerah

Ada beberapa macam cara yang dapat digunakan untuk menghitung curah hujan daerah aliran dari catatan hujan lokal pada stasiun pengukur curah hujan.

a. Metode Perhitungan Rata-rata Aljabar

Metode perhitungan rata-rata aritmatik (*arithmetic mean*) adalah cara yang paling sederhana. Metode ini biasanya dipergunakan untuk daerah yang datar, dengan jumlah pos curah hujan yang cukup banyak dan dengan anggapan bahwa curah hujan di daerah tersebut bersifat seragam (*uniform distribution*).

Rumus :

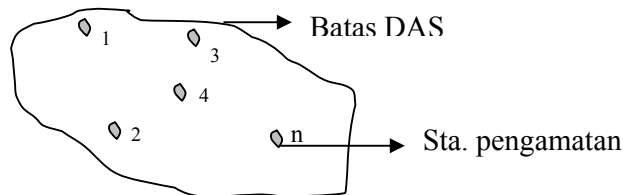
$$R_{ave} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \quad (DPU, 1983) \dots \dots \dots (2.1)$$

Di mana :

R_{ave} = curah hujan rata-rata (mm)

n = jumlah stasiun pengukuran hujan

$R_1 \dots R_n$ = besarnya curah hujan pada masing-masing stasiun (mm)



Gambar 2.1 Sketsa Stasiun Curah Hujan Cara Rata-rata Aljabar

b. Metode *Isohyet*

Isohyet adalah garis lengkung yang menunjukkan tempat kedudukan harga curah hujan yang sama. *Isohyet* diperoleh dengan cara interpolasi harga-harga curah hujan lokal R_{nt} .

Urutan perhitungannya adalah sebagai berikut :

- Luas areal diantara dua buah *isohyet* diukur dengan planimeter
= $A_{n, n-1}$
- Curah hujan rata-rata antara dua buah *isohyet* :
= $R_{n, n-1, t}$

- Volume hujan pada *isohyet* n :

$$= R_{n, n-1, t} * A_{n, n-1}$$

- Volume seluruhnya :

$$= \sum_0^n (R_{n, n-1, t} * A_{n, n-1})$$

- Curah hujan rata-rata :

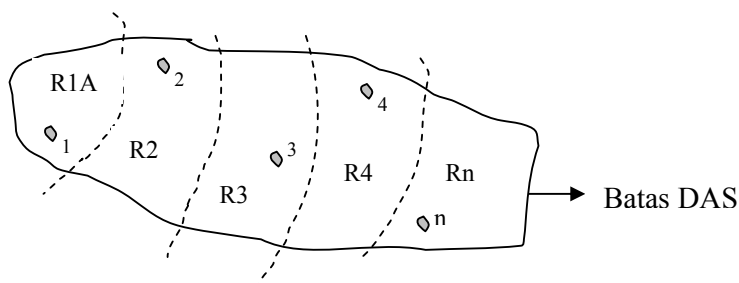
$$R_{ave} = \frac{\sum_0^n R_{n, n-1, t} * A_{n, n-1}}{A} \text{ (DPU, 1983)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Di mana :

R = curah hujan daerah (mm)

A₁-A_n = luas daerah pengaruh stasiun (km²)

R₁-R_n = curah hujan (mm)



Gambar 2.2 Pembagian Daerah Cara Garis Isohyet

c. Metode Poligon Thiessen

Metode ini dilakukan dengan menganggap bahwa setiap stasiun hujan dalam suatu daerah mempunyai luasan tertentu dan luas tersebut merupakan faktor koreksi bagi hujan di daerah yang bersangkutan. Data yang diperlukan adalah stasiun-stasiun curah hujan yang berpengaruh terhadap DPS beserta besarnya curah hujan. Caranya adalah dengan memplot letak stasiun-stasiun curah hujan ke dalam gambar daerah pengaliran sungai yang bersangkutan. Kemudian dibuat

garis penghubung di antara masing-masing stasiun dan ditarik garis sumbunya. Garis ini menjadi batas dari luas daerah tiap stasiun.

Cara ini merupakan cara terbaik dan paling banyak digunakan saat ini walau masih memiliki kekurangan karena tidak memasukkan pengaruh topografi. Metode ini sesuai digunakan apabila pos hujannya tidak banyak (minimal 3 buah) dan tidak tersebar merata.

Rumus :

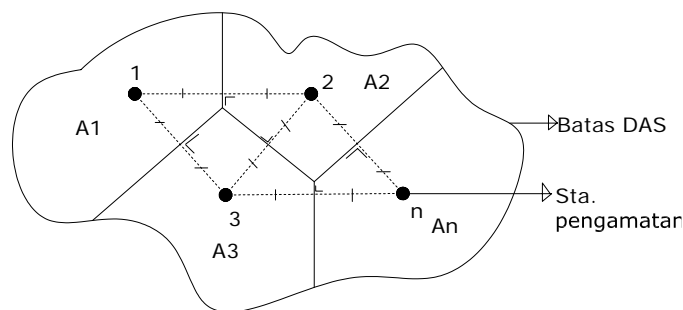
$$R = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + A_3R_3 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (DPU, 1983) \dots\dots\dots(2.3)$$

Di mana :

R = curah hujan daerah (mm)

A₁-A_n = luas daerah pengaruh stasiun (km²)

R₁-R_n = curah hujan (mm)



Gambar 2.3 Pembagian Daerah dengan Cara Poligon Thiessen

2.2.2. Metode Analisa Frekuensi

Suatu kenyataan bahwa tidak semua variat dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata – ratanya, akan tetapi kemungkinan ada nilai variat yang lebih besar atau lebih kecil dari nilai rata – ratanya. Besarnya derajat dari suatu sebaran variat disekitar nilai rata – ratanya disebut dengan variasi atau dispersi. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi. Macam cara pengukuran dispersi antara lain :

1. Harga rata – rata (\bar{X})

Rumus :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots(2.4)$$

Di mana :

 \bar{X} = curah hujan rata – rata (mm) X_i = curah hujan di stasiun hujan ke i (mm)

n = jumlah data

2. Standar deviasi (S_x)

Rumus :

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Di mana :

 S_x = deviasi standar \bar{X} = curah hujan rata – rata (mm) X_i = curah hujan di stasiun hujan ke- i (mm)

n = jumlah data

3. Koefisien *Skewness* (C_s)

Rumus :

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n - 1) * (n - 2) * S^3} \dots\dots\dots(2.6)$$

Di mana :

 C_s = koefisien *Skewness*

S = deviasi standar

 \bar{X} = curah hujan rata – rata (mm) X_i = curah hujan di stasiun hujan ke i (mm)

n = jumlah data

4. Koefisien *Kurtosis* (Ck)

Rumus :

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1) * (n-2) * (n-3) * S^4} \dots\dots\dots(2.7)$$

Di mana :

- C_k = koefisien *Kurtosis*
- S = deviasi standar
- \bar{X} = curah hujan rata – rata (mm)
- X_i = curah hujan di stasiun hujan ke i (mm)
- n = jumlah data

5. Koefisien variasi (Cv)

Rumus :

$$C_v = \frac{S_x}{\bar{X}} \dots\dots\dots(2.8)$$

- C_v = koefisien Variasi
 - S_x = deviasi standar
 - \bar{X} = curah hujan rata – rata (mm)
- (Soewarno, 1995)

2.2.3. Uji Kococokan

Untuk menentukan kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan/mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter. Pengujian parameter yang akan disajikan adalah :

2.2.3.1. Uji Sebaran *Chi Kuadrat*

Rumus :

$$X^2 Cr = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Ef_i - Of_i}{Ef_i} \right]^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

Di mana :

X^2Cr = harga *Chi Kuadrat*

Ef_i = banyaknya frekuensi yang diharapkan pada data ke-i

Of_i = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama pada data ke-i

n = jumlah data

Prosedur perhitungan uji *Chi Kuadrat* adalah :

1. Urutkan data pengamatan dari besar ke kecil
2. Hitunglah jumlah kelas yang ada (K) = $1 + 3,322 \log n$. Dalam pembagian kelas disarankan agar setiap kelas terdapat minimal tiga buah pengamatan.
3. Hitung nilai

$$Ef = \left[\frac{\sum n}{\sum K} \right] \dots\dots\dots(2.10)$$

4. Hitunglah banyaknya Of untuk masing – masing kelas.
5. hitung nilai X^2Cr untuk setiap kelas kemudian hitung nilai total X^2Cr dari tabel untuk derajat nyata tertentu yang sering diambil sebesar 5% dengan parameter derajat kebebasan.

Rumus derajat kebebasan adalah :

$$DK = K - (R + 1) \dots\dots\dots(2.11)$$

Di mana :

DK= derajat kebebasan

K = banyaknya kelas

R = banyaknya keterikatan (biasanya diambil $R = 2$ untuk distribusi normal dan binomial dan $R = 1$ untuk distribusi *Poisson* dan *Gumbel*)

(*Soewarno, 1995*)

2.2.3.2. Uji Sebaran *Smirnov – Kolmogorov*

Rumus :

$$\delta_{\max} = P_1 - P_2 \quad (\text{Soewarno, 1995}) \dots \dots \dots (2.12)$$

Di mana :

$$P_1 = \frac{m}{n} + 1$$

$$P_2 = \ell^{-\theta}$$

Di mana :

m = urutan data

n = jumlah data

δ_{\max} = simpangan terbesar (%)

2.2.4. Metode Perhitungan Curah Hujan Rencana

Analisa curah hujan rencana digunakan untuk mengetahui besarnya curah hujan harian maksimum dengan periode ulang tertentu yang akan digunakan untuk perhitungan debit banjir rencana. Metode distribusi yang digunakan untuk perhitungan curah hujan ada beberapa metode, yaitu :

2.2.4.1. Distribusi *Normal*

Distribusi *normal* banyak digunakan dalam analisis hidrologi, misalnya dalam analisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi rata-rata tahunan dan sebagainya. Distribusi *normal* atau disebut pula distribusi *Gauss*. Fungsi densitas peluang normal (*normal probability density function*) dari variabel acak kontinyu dapat ditulis sebagai berikut :

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (\text{Soewarno, 1995}) \dots \dots \dots (2.13)$$

Di mana :

$P(X)$ = fungsi densitas peluang normal (ordinat kurva normal)

π = 3,14156

e = 2,71828

X = variabel acak kontinyu

μ = rata-rata dari nilai X

σ = deviasi standar dari nilai X

2.2.4.2. Distribusi *Gumbel*

Rumus :

$$R_T = \bar{R} + (K * S_x) \quad (\text{Soemarto, 1989}) \dots\dots\dots(2.14)$$

Di mana :

R_T = curah hujan rencana dengan periode ulang T (mm)

R = curah hujan rata-rata (mm)

K = faktor frekuensi

S = standar *deviasi*

Pada metode ini biasanya menggunakan distribusi dan nilai ekstrim dengan distribusi *dobel eksponensial*.

Besarnya faktor frekuensi dalam metode ini adalah:

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{s_n} \quad (\text{Soemarto, 1989}) \dots\dots\dots(2.15)$$

Di mana :

Y_T = *Reduced variate*

Y_n = *Reduced mean*, tergantung dari besarnya sampel n

s_n = *Reduced standard deviation*, tergantung dari besarnya sampel n

$$Y_T = -\ln[-\ln\{(T_r - 1)/T_r\}] \quad (\text{Soemarto, 1989}) \dots\dots\dots(2.16)$$

Tabel 2.1. *Reduced Variate* Sebagai Fungsi Waktu Balik

T_r (tahun)	<i>Reduced Variate</i>	T_r (tahun)	<i>Reduced Variate</i>
5	1,4999	200	5,2958
10	2,2504	500	6,2136
100	4,6001	1000	6,9072

(Soemarto, 1989)

Tabel 2.2. Hubungan *Reduced Mean* Y_n dengan Besarnya Sampel n

n	Y_n	N	Y_n	n	Y_n	n	Y_n
10	0,4952	34	0,5396	58	0,5515	82	0,5572
11	0,4996	35	0,5402	59	0,5518	83	0,5574
12	0,5035	36	0,5410	60	0,5521	84	0,5576
13	0,5070	37	0,5418	61	0,5524	85	0,5578
14	0,5100	38	0,5424	62	0,5527	86	0,5580
15	0,5128	39	0,5430	63	0,5530	87	0,5581
16	0,5157	40	0,5439	64	0,5533	88	0,5583
17	0,5181	41	0,5442	65	0,5535	89	0,5585
18	0,5202	42	0,5448	66	0,5538	90	0,5586
19	0,5220	43	0,5453	67	0,5540	91	0,5587
20	0,5236	44	0,5458	68	0,5543	92	0,5589
21	0,5252	45	0,5463	69	0,5545	93	0,5591
22	0,5268	46	0,5468	70	0,5548	94	0,5592
23	0,5283	47	0,5473	71	0,5550	95	0,5593
24	0,5296	48	0,5477	72	0,5552	96	0,5595
25	0,5309	49	0,5481	73	0,5555	97	0,5596
26	0,5320	50	0,5485	74	0,5557	98	0,5598
27	0,5332	51	0,5489	75	0,5559	99	0,5599
28	0,5343	52	0,5493	76	0,5561	100	0,5600
29	0,5353	53	0,5497	77	0,5563		
30	0,5362	54	0,5501	78	0,5565		
31	0,5371	55	0,5504	79	0,5567		
32	0,5380	56	0,5508	80	0,5569		
33	0,5388	57	0,5511	81	0,5570		

(Soemarto, 1989)

Tabel 2.3. Hubungan *Reduced Standard Deviation* s_n dengan Besarnya Sampel n

n	sn	N	sn	N	sn	n	Sn
10	0,9496	33	1,1226	56	1,1696	79	1,1930
11	0,9676	34	1,1255	57	1,1708	80	1,1938
12	0,9833	35	1,1285	58	1,1721	81	1,1945
13	0,9971	36	1,1313	59	1,1734	82	1,1953
14	1,0095	37	1,1339	60	1,1747	83	1,1959
15	1,0206	38	1,1363	61	1,1759	84	1,1967
16	1,0316	39	1,1388	62	1,1770	85	1,1973
17	1,0411	40	1,1413	63	1,1782	86	1,1980
18	1,0493	41	1,1436	64	1,1793	87	1,1987
19	1,0565	42	1,1458	65	1,1803	88	1,1994
20	1,0628	43	1,1480	66	1,1814	89	1,2001
21	1,0696	44	1,1499	67	1,1824	90	1,2007
22	1,0754	45	1,1519	68	1,1834	91	1,2013
23	1,0811	46	1,1538	69	1,1844	92	1,2020
24	1,0864	47	1,1557	70	1,1854	93	1,2026
25	1,0915	48	1,1574	71	1,1863	94	1,2032
26	1,0961	49	1,1590	72	1,1873	95	1,2038
27	1,1004	50	1,1607	73	1,1881	96	1,2044
28	1,1047	51	1,1623	74	1,1890	97	1,2049
29	1,1086	52	1,1638	75	1,1898	98	1,2055
30	1,1124	53	1,1658	76	1,1906	99	1,2060
31	1,1159	54	1,1667	77	1,1915	100	1,2065
32	1,1193	55	1,1681	78	1,1923		

(Soemarto, 1989)

2.2.4.3. Distribusi Log Pearson Type III

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

- Gantilah data $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi data dalam logaritma yaitu $\text{Log } X_1, \text{Log } X_2, \text{Log } X_3, \dots, \text{Log } X_n$.
- Hitung rata-rata dari logaritma data tersebut

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_i^n \log X_i}{n} \dots\dots\dots(2.17)$$

- Hitung standar *deviasi* dari logaritma data

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\text{Log} X_i - \overline{\text{Log} X_n} \right)^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(2.18)$$

- Hitung koefisien *skewness*

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X_n} \right)^3}{(n-1) * (n-2) * S^3} \dots\dots\dots (2.19)$$

- Hitung logaritma data pada interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang dipilih.

(Soemarto, 1989)

Harga “k” adalah harga untuk setiap nilai “Cs” dan interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang dipilih. Nilai “k” dapat diambil dari tabel. Sedangkan “Log X” = Log R adalah logaritma curah hujan rencana yang mempunyai interval pengulangan atau kemungkinan prosentase sama.

Tabel 2.4. Nilai k untuk Setiap Nilai Cs (Koefisien *Skewness*)

Cs	Periode Ulang (tahun)					
	2	5	10	25	50	100
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,761	2,000	2,252
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,1	0,180	0,848	1,107	1,324	1,435	1,518
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,3	0,210	0,838	1,064	1,240	1,324	1,383
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,5	0,240	0,825	1,018	1,157	1,217	1,256
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,7	0,268	0,808	0,970	1,075	1,116	1,140
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-1,9	0,294	0,788	0,920	0,996	1,023	1,037
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990

(Soemarto, 1989)

2.2.4.4. Distribusi Log Normal

Distribusi *log Lormal* merupakan hasil transformasi dari distribusi normal , yaitu dengan mengubah nilai variat X menjadi nilai logaritmik variat X. Distribusi *log-Pearson Type III* akan menjadi distribusi *log Normal* apabila nilai koefisien kemencengan $C_s = 0,00$. Secara matematis distribusi *log Normal* di tulis sebagai berikut :

$$P(X) = \frac{1}{(\log X)(S)(\sqrt{2\pi})} \cdot \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{\log X - \bar{X}}{S} \right)^2 \right\} \quad (Soewarno, 1995) \dots (2.20)$$

Di mana :

$P(X)$ = peluang *log normal*

X = nilai variat pengamatan

\bar{X} = nilai rata-rata dari logaritmik variat X, umumnya dihitung nilai rata-rata geometriknya.

S = deviasi standar dari logaritmik nilai variat X

2.2.5. Metode Perhitungan Debit Banjir Rencana

Untuk merencanakan dam pengedali sedimen, maka diperlukan besarnya debit rencana yang dapat ditentukan dengan beberapa cara, antara lain :

2.2.5.1. Metode Haspers (Luas DPS < 300 km²)

Rumus :

$$Q_T = \alpha * \beta * q * A \text{ (m}^3\text{/detik)} \quad (Sosrodarsono, 1999) \dots \dots \dots (2.21)$$

Di mana :

Q_T = debit banjir yang diperkirakan dalam periode ulang tertentu (m³/detik)

α = koefisien *run off*

β = koefisien reduksi

q = hujan maksimum (m³/det/km²)

A = luas daerah pengaliran sungai (km²)

Prosedur perhitungan :

$$1. t = 0,1 * L^{0,8} * I^{-0,3} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$2. \alpha = \frac{1 + 0,012 * A^{0,7}}{1 + 0,075 * A^{0,7}} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$3. \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,7 * 10^{-0,4*t}}{t^2 + 15} * \frac{A^{0,75}}{12} \dots\dots\dots(2.24)$$

Untuk t < 2 jam digunakan rumus :

$$r = \frac{t * R}{t + 1 - 0,0008(260 - R)(2 - t)^2} \dots\dots\dots(2.25)$$

Untuk t > 2 jam digunakan rumus :

$$r = \frac{t * R}{t + 1} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$q = \frac{r}{3,6 * t} \dots\dots\dots(2.27)$$

Di mana :

t = lamanya curah hujan (jam)

R = curah hujan harian maksimum (mm/hari)

(Sosrodarsono, 1999)

2.2.5.2. Metode Rational (Luas DPS ≤ 300 km²)

Metode ini digunakan dengan anggapan bahwa DPS memiliki :

- Intensitas curah hujan merata di seluruh DPS dengan durasi tertentu.
- Lamanya curah hujan = waktu konsentrasi dari DPS.
- Puncak banjir dan intensitas curah hujan mempunyai tahun berulang yang sama.

Rumus :

$$Q_T = (1/3,6) * C * I * A \text{ (m}^3\text{/detik)} \text{ (Sosrodarsono, 1999)} \dots\dots\dots(2.28)$$

Di mana :

Q_T = debit banjir periode ulang tertentu (m³/detik)

C = koefisien debit

$$I = (R_{24}/24) \times (24/t)^{2/3} \text{ (mm)}$$

A = luas daerah pengaliran sungai (km²)

Intensitas hujan dapat dihitung menggunakan rumus *Mononobe* :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{tc} \right)^{2/3} \quad (\text{ Sosrodarsono, 1999 }) \dots \dots \dots (2.29)$$

Di mana :

R₂₄ = Hujan maksimum (mm)

tc = Waktu konsentrasi (jam)

2.3. ANALISIS TRANSPORT SEDIMEN

2.3.1. Mekanisme Pengangkutan Sedimen

Mekanisme pengangkutan sediment yang berasal dari endapan lahar panas hasil erupsi gunung berapi yang membeku dan mengendap di bagian hulu sungai yang dibawa oleh aliran air digolongkan sebagai :

- *Bed Load Movement*

Merupakan angkutan butir-butir tanah berupa pasir kasar (*coarse sand*), kerikil dan batuan yang bergerak secara menggelinding (*rolling*), mendorong dan menggeser (*pushing and sliding*) terus menerus pada dasar aliran yang pergerakannya dipengaruhi oleh adanya gaya seret (*drag force*) aliran yang bekerja di atas butir-butir tanah yang bergerak.

2.3.2. Persamaan Pengangkutan Sedimen

- a. Debit rencana

$$Q_s = \alpha \cdot Q_w \quad (\text{ JICA, 2002 }) \dots \dots \dots (2.30)$$

Di mana :

Q_s : Debit rencana dengan sedimen (m³/s)

Q_w : Debit rencana tanpa sedimen

(hasil perhitungan analisa hidrologi) (m³/s)

α : Koefisien aliran debris (1,12)

$$\alpha = C_s / (C_s - C_d) \quad (\text{ JICA, 2002 }) \dots \dots \dots (2.31)$$

Di mana :

C_* : Konsentrasi sedimen aliran debris atau rasio antara volume butiran dan volume material aliran debris ($C_* = 0,55$)

C_d : Konsentrasi sedimen aliran debris atau rasio antara volume butiran dan volume material aliran debris berdasarkan kemiringan dasar sungai (θ)

$$\theta > 20^0, C_d = 0,9.C_*$$

$$\theta \leq 20^0, C_d = \frac{\rho_w.Tan\theta}{(\rho_s - \rho_w).(Tan\phi - Tan\theta)}$$

(JICA, 2002).....(2.32)

Di mana :

ρ_s : Rapat massa air (1,0 Ton/m³)

ρ_w : Rapat massa material (1,8 Ton/m³) (VSTC, 1983)

θ : Kemiringan Alur (°)

ϕ : Sudut geser material (°)

b. Kecepatan aliran debris (*velocity of debris flow*)

$$V_s = \frac{1}{n} . h_s^{\frac{2}{3}} (\sin \theta)^{\frac{1}{2}} \quad (JICA, 2002).....(2.33)$$

Di mana :

V_s : *Velocity of debris flow* (m/s)

n : Angka kekasaran ($n = 0,04$)

h_s : Kedalaman aliran debris (m)

θ : Kemiringan Alur (°)

$$h_s = \left(\frac{n.\alpha.q}{(\sin \theta)^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (JICA, 2002).....(2.34)$$

dimana :

h_s : Kedalaman aliran debris (m)

n : Angka kekasaran ($n = 0,04$)

- θ : Kemiringan Alur (°)
 α : Koefisien aliran debris (1,12)
 q : Debit puncak / m lebar (m³/s)

c. Volume sedimen

Volume sedimen yang dapat diangkut dalam satu kali banjir debris dapat diprediksi dengan rumus empiris dari Mizuyama sebagai berikut ini :

$$Vec = \frac{10^3 \cdot R_{24} \cdot A}{1 - \lambda} \cdot \left(\frac{Cd}{1 - Cd} \right) \cdot fr \quad (JICA, 2002) \dots\dots\dots (2.35)$$

Dimana :

Vec : Volume sedimen yang dapat diangkut oleh aliran (m³)

R₂₄ : Intensitas hujan harian (mm)

Cd : Konsentrasi sedimen aliran debris

A : *Catchment Area* (Km²)

fr : Koefisien koreksi aliran (hasil penelitian wilayah Gunung Merapi nilai diambil antara 0,3 - 0,7)

λ : Void rasio (± 0,40)

2.4. ANALISA MEKANIKA TANAH

Laporan hasil penyelidikan tanah merupakan bagian dari rangkaian proses pelaksanaan penyelidikan lapangan dan laboratorium. Laporan ini merupakan hasil penelitian kondisi tanah dasar yang meliputi penentuan diskripsi tanah, parameter sifat fisis, sifat teknis, serta pola penyebaran struktur lapisan tanah / batuan.

Besaran parameter yang didapat akan memberikan gambaran nyata mengenai sifat dan jenis tanah setempat yang bertujuan untuk memberikan rekomendasi tentang perancangan konstruksi pondasi.

Penyelidikan yang dilakukan bertujuan untuk menentukan :

- Struktur dan penyebaran tanah dan batuan
- Sifat fisis dan sifat teknis tanah / batuan
- Analisis karakteristik dan kapasitas dukung tanah dasar.

2.4.1. Pengambilan Sampel di Lapangan

Penyelidikan yang dilakukan mencakup fase-fase sebagai berikut :

1. Pengeboran dalam
2. Sampling, baik yang kondisi *undisturbed* maupun *disturbed*
3. *Standart Penetrasi Test* (SPT), dilakukan untuk mengetahui besaran daya dukung tanah (N-value)
4. Kedudukan Muka Air Tanah (MAT)

2.4.2. Test Laboratorium

Hasil pengambilan contoh tanah dibawa ke laboratorium untuk diteliti dengan penyiapan *sample* sesuai prosedural ASTM D.421. Penelitian laboratorium mencakup :

1. Penelitian sifat indek (*Index Properties*)
2. Penelitian sifat teknis (*Engineering Properties*)

2.5. PERENCANAAN KONSTRUKSI SABO DAM PENGENDALI SEDIMEN

2.5.1. Prosedur Perencanaan Teknis Dam Pengendali Sedimen

Perencanaan dam pengendali sedimen secara teknis meliputi perencanaan sebagai berikut :

- a. Perencanaan peluap
- b. Perencanaan *main dam*
- c. Perencanaan pondasi
- d. Perencanaan sayap
- e. Perencanaan *sub dam*
- f. Stabilitas *main dam*
- g. Bangunan pelengkap

2.5.2. Perencanaan Peluap

Rumus :

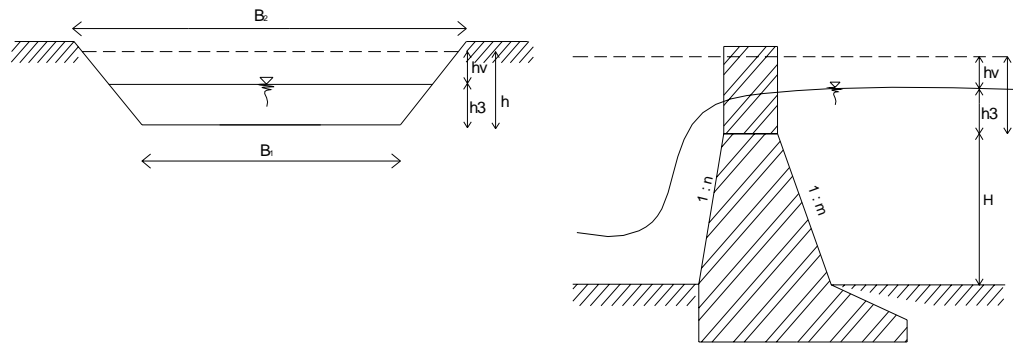
$$Q = m_2 * \frac{2}{15} * C \sqrt{2g(3B_1 + 2B_2)} * h_3^{3/2} \quad (JICA, 1985) \dots \dots \dots (2.36)$$

Di mana :

- Q = debit rencana (m³/detik)
- C = koefisien debit (0,6 - 0,66)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)
- B₁ = lebar peluap bagian bawah (m)
- B₂ = lebar muka air di atas peluap (m)
- h₃ = tinggi muka air di atas peluap (m)
- m₂ = kemiringan tepi peluap

Jika m₂ = 0,5 dan C = 0,6, maka rumus di atas menjadi :

$$Q = (0,71 * h_3 + 1,77 * B_1) * h_3^{3/2} \quad (JICA, 1985) \dots\dots\dots(2.37)$$



a. Potongan Melintang Peluap

b. Potongan Memanjang Peluap

Gambar 2.4. Penampang Peluap

a. Tinggi Jagaan (*Free Board*)

Untuk mencegah terjadinya limpasan di atas sayap pada saat terjadi debit rencana, maka diperlukan adanya ruang bebas yang besarnya tergantung dari debit rencana (Q). Besarnya tinggi jagaan ditetapkan berdasarkan debit rencana adalah sebagai berikut :

Tabel 2.5. Tinggi Jagaan

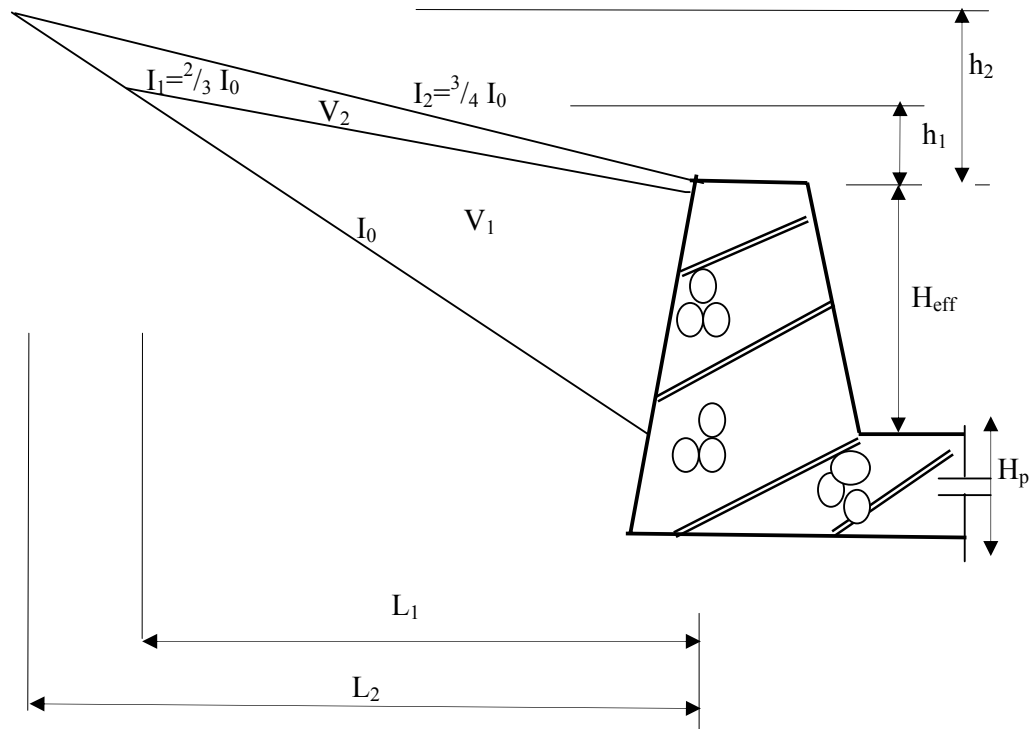
Debit Rencana (m ³ /detik)	Tinggi Jagaan (m)
Q < 200	0,6
200 < Q < 500	0,8
500 < Q < 2000	1,0
2000 < Q < 5000	1,2

(DPU, 1983)

2.5.3. Perencanaan *Main Dam*

a. Tinggi mercu peluap

Tinggi efektif mercu peluap (H_{eff}) dihitung berdasarkan Volume / daya tampung dam yang direncanakan



Gambar 2.5. Perencanaan Tinggi Peluap

Dimana :

- I_0 = Kemiringan dasar sungai asli (%)
- I_1 = Kemiringan dasar seimbang statik (%)
- I_2 = Kemiringan dasar seimbang dinamik (%)
- V_1 = Volume tertahan / *dead load* (m^3)
- V_2 = Volume control / *control volume* (m^3)
- H_{eff} = Tinggi efektif dam (m)
- H_p = Tebal apron (m)
- B = Lebar sungai rata-rata (m)

- L_1 = Jarak endapan sedimen beku (m)
- L_2 = Jarak endapan sedimen kontrol (m)

Besar kapasitas dam adalah :

$$V = 0,5 \{(B * H_{eff}^2) / (I_0 - I_1)\} \dots \dots \dots (2.38)$$

- Estimasi Daya Tampung Sedimen Tetap (V_1)

$$V_1 = \frac{1}{2} \frac{BxH_{eff}^2}{I_0 - I_1} \longrightarrow I_1 = \frac{2}{3} x I_0 \dots \dots \dots (2.39)$$

$$H_{eff} = \sqrt{\frac{2xV_1x(I_0 - I_1)}{B}} \dots \dots \dots (2.40)$$

- Estimasi Daya Tampung Sedimen total (V_2)

$$V_2 = \frac{1}{2} \frac{BxH_{eff}^2}{I_0 - I_2} \longrightarrow I_2 = \frac{3}{4} x I_0 \dots \dots \dots (2.41)$$

$$H_{eff} = \sqrt{\frac{2xV_2x(I_0 - I_2)}{B}} \dots \dots \dots (2.42)$$

Dari gambar :

$$H_{eff} + h_1 = I_0 * L_1$$

$$h_1 = I_1 * L_1$$

$$H_{eff} = (I_0 * L_1) - (I_1 * L_1)$$

$$L_1 = \frac{H_{eff}}{I_0 - I_1} \dots \dots \dots (2.43)$$

$$H_{eff} + h_2 = I_0 * L_2$$

$$h_2 = I_2 * L_2$$

$$H_{eff} = (I_0 * L_2) - (I_2 * L_2)$$

$$L_2 = \frac{H_{eff}}{I_0 - I_2} \dots \dots \dots (2.44)$$

(JICA, 2002)

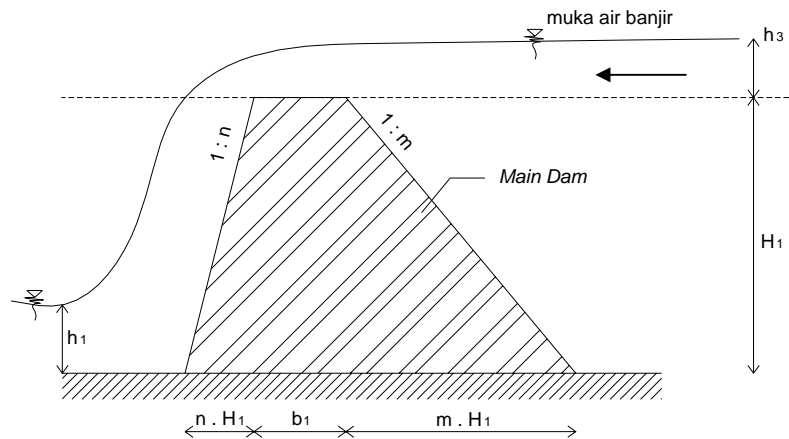
- b. Gaya-gaya yang bekerja :
1. Berat sendiri (W)
 2. Tekanan air statik (P)
 3. Tekanan sedimen (P_s)
 4. Gaya angkat (U)
 5. Gaya inersia saat gempa (I)
 6. Tekanan air dinamik (P_d)

Gaya-gaya untuk keadaan normal dan banjir adalah :

Tabel 2.6. Gaya-Gaya yang Ditinjau untuk Keadaan Normal dan Banjir

Tipe	Normal	Banjir
Dam rendah, H < 15 m	-	W, P
Dam tinggi, H > 15 m	W, P, P _s , U, I, P _d	W, P, P _s , U

(JICA, 1985)



Gambar 2.6. Perencanaan *Main Dam*

1. Berat sendiri (W)

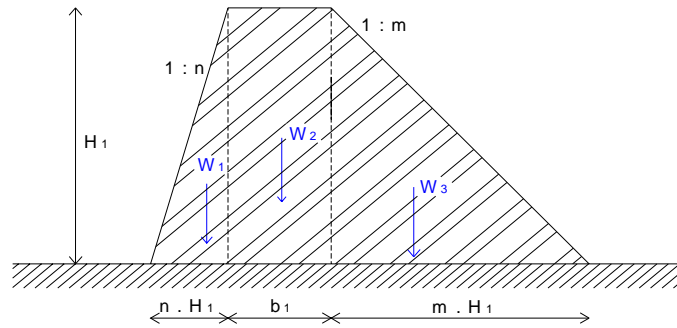
$$W = \gamma_c * A \quad (JICA, 1985) \dots\dots\dots(2.45)$$

Di mana :

W = berat sendiri per meter

γ_c = berat volume bahan (beton 2,4 t/m³ dan pasangan batu 2,2 t/m³)

A = volume per meter



Gambar 2.7. Gaya Berat Main Dam

2. Tekanan air statik (P)

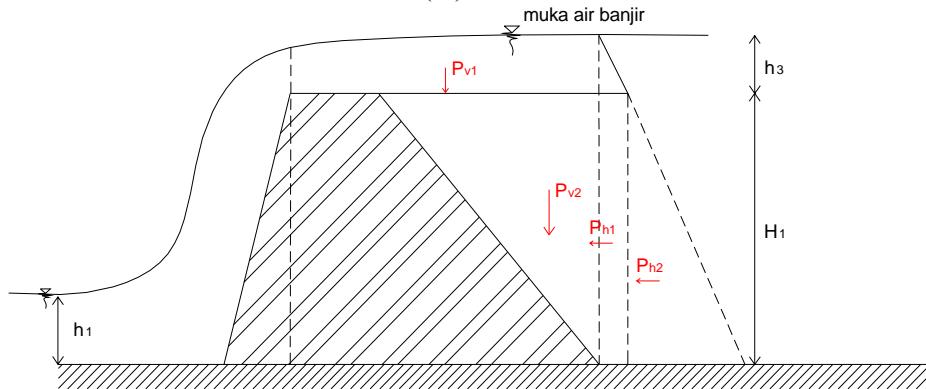
$$P = \gamma_o \cdot h_w \quad (JICA, 1985) \dots\dots\dots(2.46)$$

Di mana :

P = tekanan air statik horizontal pada titik sedalam h_w (t/m^3)

γ_o = berat volume air ($1 t/m^3$)

h_w = kedalaman air (m)



Gambar 2.8. Gaya Tekan Air Statik

3. Tekanan sedimen (Pe)

$$P_{ev} = \gamma_{si} * h_e \quad \dots\dots\dots(2.47)$$

$$P_{eh} = C_e * \gamma_{si} * h_e \quad \dots\dots\dots(2.48)$$

Di mana :

P_{ev} = gaya tekan vertikal sedimen (t/m^2)

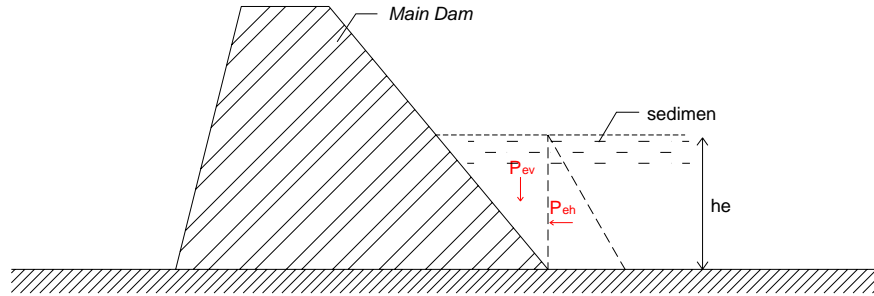
P_{eh} = gaya tekan horizontal sedimen (t/m^2)

γ_{si} = berat volume sedimen dalam air ($1,5 - 1,8 t/m^2$)

C_e = koefisien gaya tekan tanah aktif (0,3)

h_e = tinggi sedimen (m)

(JICA, 1985)



Gambar 2.9. Gaya Tekan Akibat Sedimen

4. Gaya angkat (U)

$$U_x = H_x - \frac{L_x}{\Sigma L} * \Delta H \dots\dots\dots(2.49)$$

Di mana :

U_x = gaya angkat pada titik x (t/m^2)

H_x = tinggi muka air hulu sampai dengan titik x (m)

L_x = jarak ke titik x (m)

ΔH = beda tinggi antara muka air hulu dan muka air hilir (m)

ΣL = panjang rembesan (m)

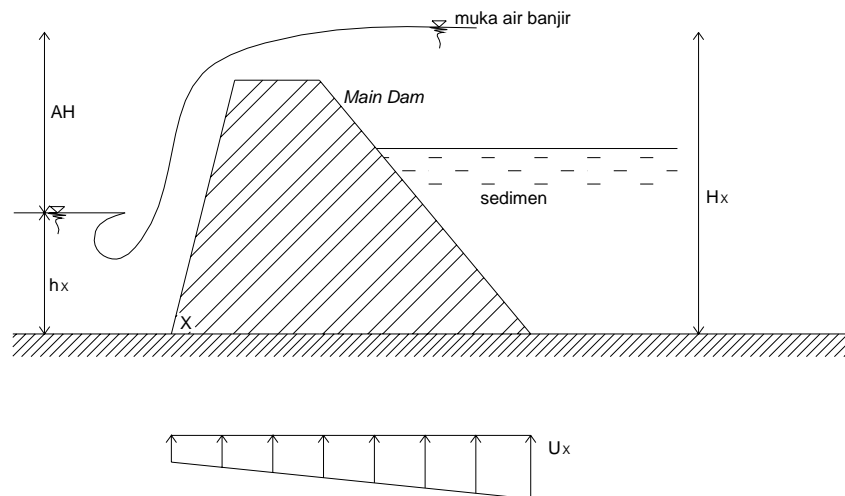
untuk Lane :

$$\Sigma L = \frac{1}{3} \Sigma H + \Sigma V \dots\dots\dots(2.50)$$

untuk Bligh :

$$\Sigma L = \Sigma H + \Sigma V \dots\dots\dots(2.51)$$

(JICA, 1985)



Gambar 2.10. Gaya Angkat pada Main Dam

5. Gaya inersia saat gempa (I)

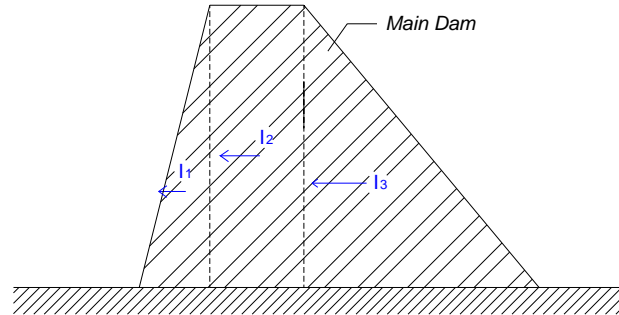
$$I = k * W \quad (JICA, 1985) \dots\dots\dots(2.52)$$

Di mana :

I = gaya inersia oleh gempa (t/m²)

k = koefisien gempa (0,10 – 0,12)

W = berat sendiri dam per meter (t)



Gambar 2.11. Gaya Gempa

6. Tekanan air dinamik (P_d)

$$P_x = C * \gamma_0 * K * h_0 \quad \dots\dots\dots(2.53)$$

$$C = \frac{C_m}{2} \left[\frac{h_x}{h_0} \left(2 - \frac{h_x}{h_0} \right) + \sqrt{\frac{h_x}{h_0}} \left(2 - \frac{h_x}{h_0} \right) \right] \quad \dots\dots\dots(2.54)$$

$$P_d = \eta * \frac{C_m}{2} * \gamma_0 * K * h_0^2 * \sec \theta \quad \dots\dots\dots(2.55)$$

$$h_d = \lambda * h_x \quad \dots\dots\dots(2.56)$$

Di mana :

P_x = gaya tekan air dinamik pada titik x (t/m²)

P_d = gaya tekan air dinamik total dari muka air sampai titik x (t/m²)

γ₀ = berat volume air (1 t/m³)

K = koefisien seismik (0,12)

h₀ = kedalaman air dari muka air sampai dasar pondasi (m)

h_x = kedalaman air dari muka air sampai titik x (m)

h_d = jarak vertikal x sampai P_d (m)

C_m = diperoleh dari tabel, fungsi dari sudut θ

θ = sudut antara kemiringan check dam dan sisi tegak

Tabel 2.7. Nilai C_m

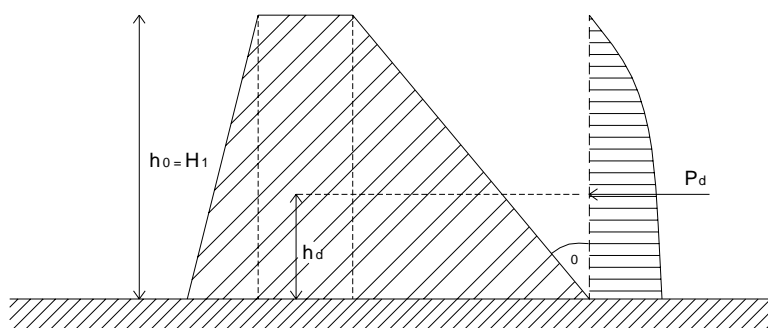
θ	30°	35°	40°	50°	60°	70°
C_m	0,54	0,50	0,45	0,38	0,30	0,20

(JICA, 1985)

η, λ = koefisien yang diperoleh dari grafik

C = koefisien tekanan air dinamik

(JICA, 1985)

**Gambar 2.12.** Gaya Tekan Air Dinamik

c. Lebar mercu peluap

Perencanaan mercu peluap dam pengendali sedimen harus direncanakan agar kuat menahan benturan maupun abrasi akibat pukulan aliran sedimen.

Lebar mercu yang disarankan :

Tabel 2.8. Lebar Mercu Peluap

Lebar mercu	$b = 1,5 - 2,5$ m	$b = 3,0 - 4,0$ m
Material	Pasir dan kerikil atau Kerikil dan batu	Batu-batu besar
Hidrologis	Kandungan sedimen sedikit sampai dengan sedimen banyak	<i>Debris flow</i> kecil sampai <i>debris flow</i> yang besar

(JICA, 1985)

d. Kemiringan tubuh *main dam*

Kemiringan badan *main dam* di hulu 1 : m digunakan rumus :

Untuk $H < 15$ m :

$$(1 + \alpha)m^2 + [2(n + \beta) + n(4\alpha + \gamma) + 2\alpha]m - (1 + 3\alpha) + \alpha\beta(4n + \beta) + (3n\beta + \beta^2 + n^2) = 0 \dots\dots\dots(2.57)$$

$$\alpha = \frac{h_3}{H} \dots\dots\dots(2.58)$$

$$\beta = \frac{b_1}{H} \dots\dots\dots(2.59)$$

$$\gamma = \frac{\gamma_c}{\gamma_w} \dots\dots\dots(2.60)$$

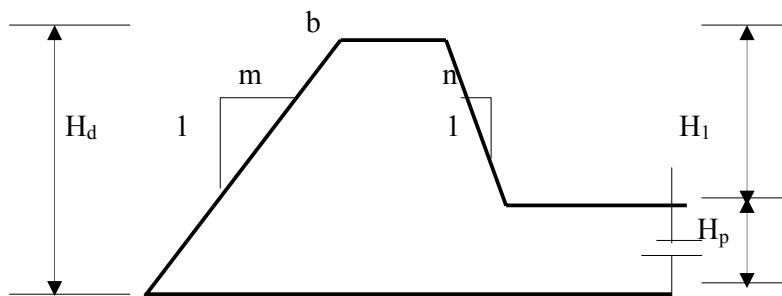
Di mana :

γ_c = berat volume bahan (t/m^3)

γ_w = berat volume air dengan kandungan sedimen ($1,2 t/m^3$)

Kemiringan badan dam bagian hilir ditetapkan 1 : 0,2

(JICA, 1985)



Gambar 2.13. Kemiringan hulu & hilir *main dam*

2.5.4. Perencanaan Pondasi

a. Dasar pondasi

Pondasi sebaiknya ditempatkan pada batuan dasar. Jika keadaan tidak memungkinkan, maka dibuat pondasi terapung pada sedimen sungai.

b. Daya dukung dasar pondasi

Tegangan yang terjadi pada dasar pondasi harus lebih kecil dari tegangan yang diijinkan seperti pada tabel :

Tabel 2.9. Daya Dukung yang Diijinkan

Klasifikasi pondasi		Daya dukung tanah (t/m ³)	Koefisien geser	Catatan	
				Pengujian desak (<i>unconfined</i>)	Nilai N
Batuan dasar	Batuan keras dengan sedikit retak	100	0,7	>1000 t/m ²	-
	Batuan keras dengan banyak retak	60	0,7	>1000 t/m ²	-
	Batuan lunak atau <i>mudstone</i>	30	0,7	>100 t/m ²	-
Lapis kerikil	Kompak	60	0,6	-	-
	Tidak kompak	30	0,6	-	-
Lapis pasir	Kompak	30	0,6	-	30 – 50
	Kurang kompak	20	0,5	-	15 – 30
Lapis tanah liat	Keras	10	0,45	10 – 20 t/m ²	8 – 15
	Kurang keras	5	-	5 – 10 t/m ²	4 – 8
	Sangat keras	20	0,5	20 – 40 t/m ²	15 – 30

(JICA, 1985)

c. Kedalaman pondasi

Rumus :

$$d_1 = \frac{1}{3}(H_1 + h_3) \quad (\text{dalam Salamun, 2003}) \dots\dots\dots(2.61)$$

Di mana :

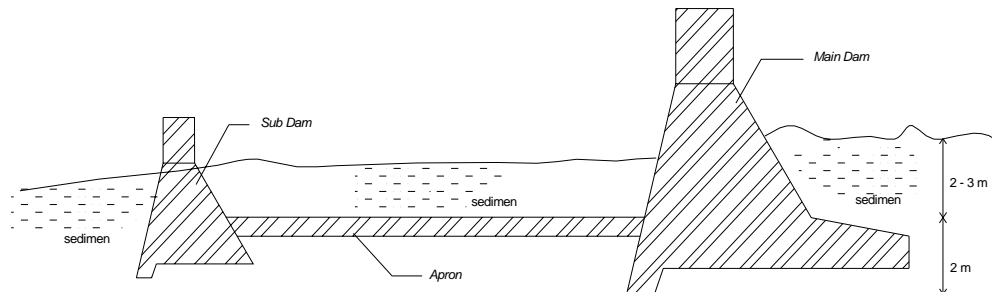
d₁ = kedalaman pondasi (m)

H = tinggi efektif *main dam* (m)

h₃ = tinggi muka air di atas peluap (m)

d. Penetrasi Pondasi

Pada dasar pondasi berupa batuan, dasar dam pengendali sedimen harus ditempatkan minimum 1,0 m dari permukaan batuan. Pada dasar pondasi berupa sedimen sungai, dasar dam pengendali sedimen harus ditempatkan minimum 2,0 m dari dasar sungai.

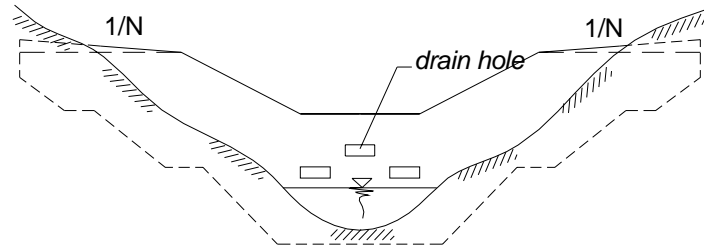


Gambar 2.14. Penetrasi Pondasi

2.5.5. Perencanaan Sayap

a. Kemiringan sayap

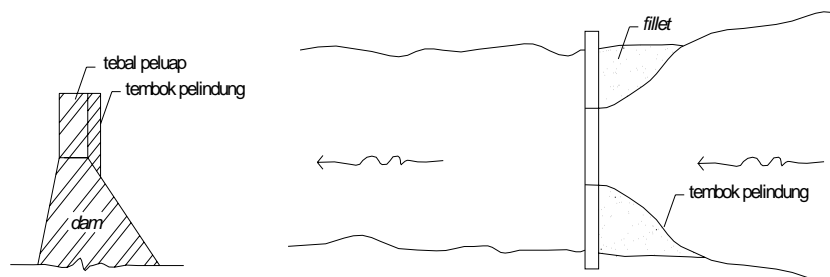
Agar tidak ada limpasan pada sayap, maka ke arah tebing sayap dibuat lebih tinggi dengan kemiringan $1/N >$ kemiringan dasar sungai.



Gambar 2.15. Kemiringan Sayap

b. Lebar sayap

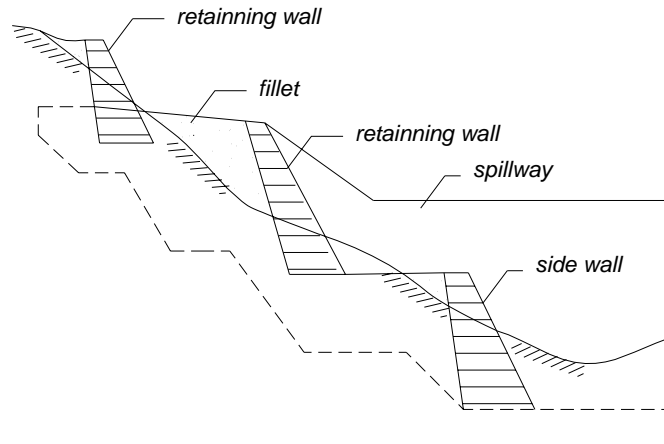
Lebar sayap diambil sama dengan lebar mercu peluap atau sedikit lebih sempit. Lebar sayap harus aman terhadap gaya-gaya luar, khususnya dam pengendali sedimen yang dibangun di daerah di mana aliran sedimen terjadi, perlu diteliti keamanan sayap terhadap tegangan yang disebabkan oleh gaya tumbukan dan perlu dipertimbangkan untuk menambah lebar sayap atau memasang tembok pelindung.



Gambar 2.16. Lebar Sayap

c. Penetrasi sayap

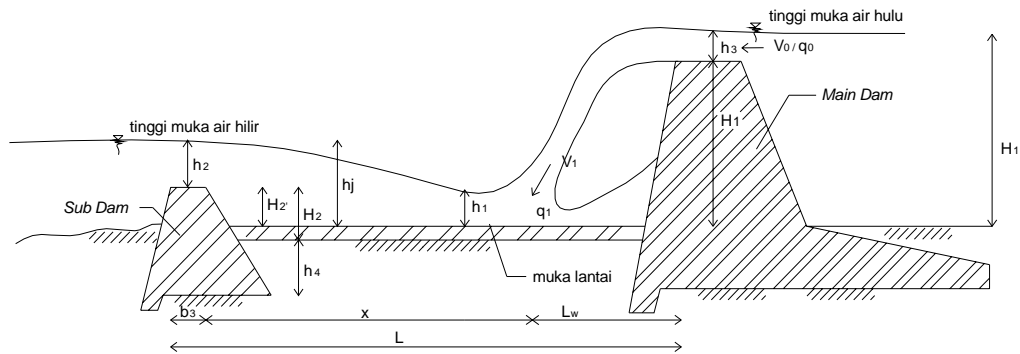
Sayap harus masuk cukup dalam ke tebing karena tanah pada bagian tebing mudah tergerus oleh aliran air.



Gambar 2.17. Penetrasi Sayap

2.5.6. Perencanaan Sub Dam dan Lantai

Sub dam berfungsi untuk mencegah pondasi dam dan dasar sungai di hilir dari gerusan dan penurunan yang disebabkan oleh terjunan air dan sedimen.



Gambar 2.18. Letak Sub Dam

a. Jarak Sub Dam

- Jika main dam tidak begitu tinggi

$$L = 1,5 - 2,0 (H_1 + h_3) \dots\dots\dots(2.62)$$

Di mana :

L = jarak *main dam* – *sub dam* (m)

H_1 = tinggi dari muka lantai permukaan batuan dasar sampai
mercu *main dam* (m)

h_3 = tinggi muka air di atas peluap (m)

- Jika *main dam* cukup tinggi

$$L = L_w + x + b_3 \dots\dots\dots(2.63)$$

Di mana :

L_w = panjang terjunan (m)

x = panjang loncatan air (m)

β = konstanta (4,5 – 5)

b_3 = lebar puncak *sub dam* (m)

$$L_w = V_0 * \left(\frac{2(H_1 + \frac{1}{2}h_3)}{g} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(2.64)$$

Di mana :

$V_0 = q_0 / h_3$ (m/detik)

q_0 = debit per meter lebar peluap (m³/detik)

h_3 = tinggi muka air di atas peluap (m)

H_1 = tinggi dari muka lantai permukaan batuan dasar sampai
mercu *main dam* (m)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/detik²)

$$x = \beta * h_j \dots\dots\dots(2.65)$$

Di mana :

β = koefisien (4,5 s/d 5)

h_j = tinggi dari permukaan lantai sampai muka air di atas mercu
sub dam

$$h_j = \frac{h_1}{2} \left[\left(\sqrt{1 + 8 * Fr^2} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.66)$$

Di mana :

h_1 = tinggi air (*jet*) pada titik jatuhnya terjunan (m)

L_w = panjang terjunan (m)

$$h_1 = \frac{q_1}{v_1} \dots\dots\dots(2.67)$$

Di mana :

q_1 = debit per meter lebar pada titik jatuhnya terjunan (m³/detik)

v_1 = kecepatan terjunan pada titik jatuhnya terjunan (m/detik)

$$v_1 = \sqrt{2g(H_1 + h_3)} \dots\dots\dots(2.68)$$

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}} \dots\dots\dots(2.69)$$

Di mana :

Fr = angka Froude dari aliran jet pada titik jatuh

(JICA, 1985)

b. Penampang *Sub Dam*

Standar perencanaan *sub dam* mengikuti standar perencanaan *main dam*, antara lain sebagai berikut :

- Lebar mercu *sub dam* sama dengan lebar mercu *main dam*.
- Kemiringan badan *sub dam* di bagian hilir ditetapkan sama dengan *main dam*.
- Perhitungan stabilitas *sub dam* dibuat dengan prosedur yang sama dengan perhitungan stabilitas *main dam*.

c. Tinggi *Sub Dam*

- Jika *main dam* tidak begitu tinggi

Rumus :

$$H' = H_2 + h_4 \dots\dots\dots(2.70)$$

$$H_2 = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4}\right)H_1 \dots\dots\dots(2.71)$$

Di mana :

H' = tinggi *sub dam* (m)

H₂ = tinggi *overlapping* (m)

h₄ = kedalaman penetrasi (m)

H = tinggi *main dam* (m)

- Jika *main dam* cukup tinggi

Rumus :

$$H' = H_2' + t + h_4 \dots\dots\dots(2.72)$$

$$H_2' = h_j - h_2 \dots\dots\dots(2.73)$$

Di mana :

H' = tinggi *sub dam* (m)

H_2' = tinggi *sub dam* dari permukaan apron (m)

t = tebal *apron* (m)

h_4 = kedalaman penetrasi (m)

h_2 = tinggi muka air di atas *sub dam* (m)

h_j = tinggi permukaan lantai ke muka air di atas mercu *sub dam*
(DPU, 1983)

d. Tebal Lantai / *Apron*

- Tanpa bantalan air

Rumus :

$$t = 0,2 * (0,6H_1 + 3h_3 - 1) \dots\dots\dots(2.74)$$

- Dengan bantalan air

Rumus :

$$t = 0,1 * (0,6H_1 + 3h_3 - 1) \dots\dots\dots(2.75)$$

Di mana :

t = tebal lantai (m)

H_1 = tinggi dari muka lantai permukaan batuan dasar sampai mercu
main dam (m)

h_3 = tinggi muka air di atas peluap (m)

(DPU, 1983)

2.5.7. Stabilitas *Main Dam*

Perhitungan stabilitas

1. Resultan (R) gaya-gaya harus berada pada inti

$$x = \frac{M}{V} \dots\dots\dots(2.76)$$

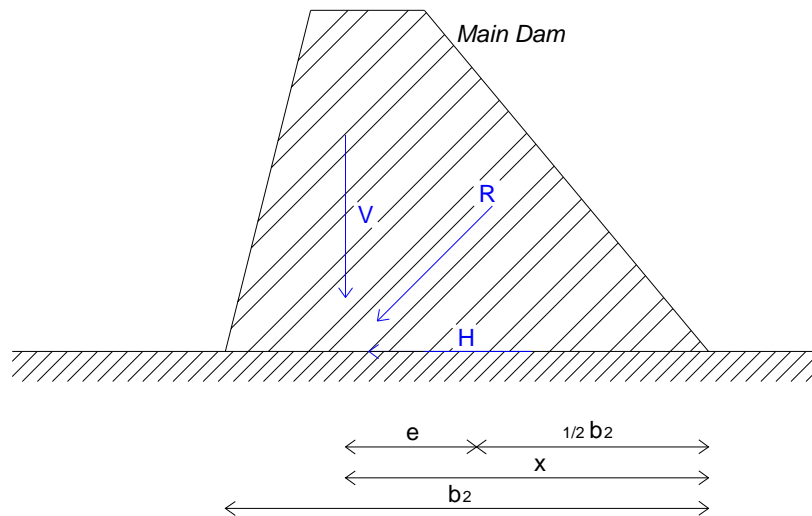
$$e = \frac{b_2}{2} - x \dots\dots\dots(2.77)$$

Syarat :

$$1/3b_2 < x < 2/3b_2$$

$$e < 1/6 b_2$$

(JICA, 1985)



Gambar 2.19. Resultan Gaya pada Main Dam

2. Stabilitas terhadap geser

$$SF = \frac{V * tg \phi + C * b_2}{H} \quad (JICA, 1985) \dots\dots\dots (2.78)$$

Di mana :

SF = faktor keamanan > 1,2

V = gaya vertikal (ton)

H = gaya horisontal (ton)

ϕ = sudut geser dalam tanah dasar

C = kohesi tanah

b_2 = panjang bidang geser (m)

3. Stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{Mv}{Mh} \quad (JICA, 1985) \dots\dots\dots(2.79)$$

Di mana :

SF = faktor keamanan > 1,2

M_v = jumlah momen gaya vertikal terhadap O (tm)

M_h = jumlah momen gaya horizontal terhadap O (tm)

4. Tegangan pada dasar pondasi

$$\sigma_{12} = \frac{V}{b_2} \left(1 \pm \frac{6e}{b_2} \right) \quad (JICA, 1985) \dots\dots\dots(2.80)$$

Di mana :

V = total gaya vertikal (ton)

b_2 = panjang bidang geser (m)

σ_{12} = tegangan maksimum / minimum pada dasar pondasi (t/m^2)

e = jarak dari titik tengah sampai R ($b_2/2-x$) dalam meter

2.5.8. Bangunan Pelengkap

a. Konstruksi Tembok Tepi

Dinding tepi berfungsi untuk menahan erosi dan longsor antara *main dam* dan *sub dam* yang disebabkan oleh aliran air atau terjunan.

Perencanaan tembok tepi meliputi :

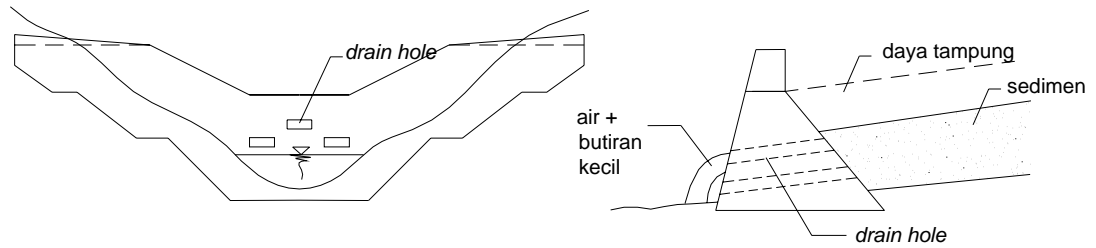
- Elevasi pondasi tembok tepi direncanakan sama dengan elevasi lantai terjun, tetapi harus terletak di luar titik jauh dari *main dam*.
- Kemiringan standar V : H = 1 : 0,5
- Ketinggian tembok tepi direncanakan sama dengan atau sedikit lebih tinggi dari ketinggian sayap *sub dam*.

b. Lubang Drainase (*Drain Hole*)

Maksud dari pembuatan lubang drainase adalah sebagai berikut :

- Berfungsi sebagai saluran pengelak pada waktu pelaksanaan pekerjaan.
- Mengurangi tekanan air pada *main dam* setelah tempat endapan sedimen di hulu penuh.

- Mengalirkan material endapan berbutir kecil agar dam tetap mempunyai daya tampung dalam menghadapi aliran debris yang akan datang.
- Umumnya lebar lubang drainase diambil 0,5 s/d 1 meter.



Gambar 2.20. Drain Hole