

---

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Dalam pekerjaan perencanaan suatu embung diperlukan bidang-bidang ilmu pengetahuan yang saling mendukung demi kesempurnaan hasil perencanaan. Bidang ilmu pengetahuan itu antara lain geologi, hidrologi, hidrolika dan mekanika tanah.

Setiap daerah pengaliran sungai mempunyai sifat-sifat khusus yang berbeda, hal ini memerlukan kecermatan dalam menerapkan suatu teori yang cocok pada daerah pengaliran. Oleh karena itu, sebelum memulai perencanaan konstruksi embung, perlu adanya kajian pustaka untuk menentukan spesifikasi yang akan menjadi acuan dalam perencanaan pekerjaan konstruksi tersebut. Dalam tinjauan pustaka ini juga dipaparkan secara singkat mengenai kebutuhan air baku, analisis hidrologi, dasar-dasar teori perencanaan embung yang akan digunakan dalam perhitungan konstruksi dan bangunan pelengkapannya.

#### **2.2. Kebutuhan Air Baku**

Kebutuhan air baku di sini dititik beratkan pada penyediaan air baku untuk diolah menjadi air bersih.

##### 2.2.1. Standar Kebutuhan Air

Standar kebutuhan air ada 2 (dua) macam yaitu :

a. Standar kebutuhan air domestik

Standar kebutuhan air domestik yaitu kebutuhan air yang digunakan pada tempat-tempat hunian pribadi untuk memenuhi keperluan sehari-hari seperti memasak, minum, mencuci dan keperluan rumah tangga lainnya. Satuan yang dipakai adalah liter/orang/hari.

b. Standar kebutuhan air non domestik

Standar kebutuhan air non domestik adalah kebutuhan air bersih diluar keperluan rumah tangga. Kebutuhan air non domestik antara lain :

## 1) Penggunaan komersil dan industri

Yaitu penggunaan air oleh badan-badan komersil dan industri.

## 2) Penggunaan umum

Yaitu penggunaan air untuk bangunan-bangunan pemerintah, rumah sakit,sekolah-sekolah dan tempat-tempat ibadah.

Kebutuhan air non domestik untuk kota dapat dibagi dalam beberapa kategori antara lain :

- Kota kategori I (Metro)
- Kota kategori II (Kota besar)
- Kota kategori III (Kota sedang)
- Kota kategori IV (Kota kecil)
- Kota kategori V (Desa)

Tabel 2.1. Kategori kebutuhan air non domestik

NO	URAIAN	KATEGORI KOTA BERDASARKAN JUMLAH JIWA				
		>1.000.000	500.000 S/D 1.000.000	100.000 S/D 500.000	20.000 S/D 100.000	<20.000
		METRO	BESAR	SEDANG	KECIL	DESA
1	Konsumsi unit sambung an rumah (SR) l/o/h	190	170	130	100	80
2	Konsumsi unit hidran umum (HU) l/o/h	30	30	30	30	30
3	Konsumsi unit non domestik l/o/h (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
4	Kehilangan air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
5	Faktor hari maksimum	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
6	Faktor jam puncak	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7	Jumlah jiwa per SR	5	5	5	5	5
8	Jumlah jiwa per HU	100	100	100	100	100
9	Sisa tekan di penyediaan distribusi (mka)	10	10	10	10	10
10	Jam operasi	24	24	24	24	24
11	Volume reservoir (% max day demand)	20	20	20	20	20
12	SR : HR	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20	70:30	70:30
13	Cakupan pelayanan (%)	*) 90	90	90	90	**) 70

\*) 60% perpipaan, 30% non perpipaan

\*\*) 25% perpipaan, 45% non perpipaan

Sumber : Ditjen Cipta Karya; tahun 2000

Kebutuhan air bersih non domestik untuk kategori I sampai dengan V dan beberapa sektor lain adalah sebagai berikut :

*Tabel 2.2. Kebutuhan air non domestik kota kategori I, II, III dan IV*

NO	SEKTOR	NILAI	SATUAN
1	Sekolah	10	Liter/murid/hari
2	Rumah sakit	200	Liter/bed/hari
3	Puskesmas	2.000	Liter/hari
4	Masjid	3.000	Liter/hari
5	Kantor	10	Liter/pegawai/hari
6	Pasar	12.000	Liter/hektar/hari
7	Hotel	150	Liter/bed/hari
8	Rumah makan	100	Liter/tempat duduk/hari
9	Kompleks militer	60	Liter/orang/hari
10	Kawasan industri	0,2-0,8	Liter/detik/hari
11	Kawasan pariwisata	0,1-0,3	Liter/detik/hari

*Sumber : Ditjen Cipta Karya Dep PU*

*Tabel 2.3. Kebutuhan air bersih kategori V*

NO	SEKTOR	NILAI	SATUAN
1	Sekolah	5	Liter/murid/hari
2	Rumah sakit	200	Liter/bed/hari
3	Puskesmas	1.200	Liter/hari
4	Hotel/losmen	90	Liter/hari
5	Komersial/industri	10	Liter/hari

*Sumber : Ditjen Cipta Karya Dep PU*

*Tabel 2.4. Kebutuhan air bersih domestik kategori lain*

NO	SEKTOR	NILAI	SATUAN
1	Lapangan terbang	10	Liter/det
2	Pelabuhan	50	Liter/det
3	Stasiun KA-Terminal bus	1.200	Liter/det
4	Kawasan industri	0,75	Liter/det/ha

*Sumber : Ditjen Cipta Karya Dep PU*

### 2.2.2. Proyeksi Kebutuhan Air Bersih

Proyeksi kebutuhan air bersih dapat ditentukan dengan memperhatikan pertumbuhan penduduk untuk diproyeksikan terhadap kebutuhan air bersih sampai dengan lima puluh tahun mendatang atau tergantung dari proyeksi yang dikehendaki. Adapun yang berkaitan dengan proyeksi kebutuhan tersebut adalah:

### a. Angka Pertumbuhan Penduduk

Angka pertumbuhan penduduk dihitung dengan prosentase memakai rumus:

$$\text{Angka Pertumbuhan (\%)} = \frac{\sum \text{penduduk}_n - \sum \text{penduduk}_{n-1}}{\sum \text{penduduk}_{n-1}} \times 100\% \quad \dots \quad (2.1)$$

### b. Proyeksi Jumlah Penduduk

Dari angka pertumbuhan penduduk di atas dalam prosen digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk sampai dengan lima puluh tahun mendatang. Meskipun pada kenyataannya tidak selalu tepat, tetapi perkiraan ini dapat dijadikan sebagai dasar perhitungan volume kebutuhan air di masa mendatang. Ada beberapa metode yang digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk antara lain yaitu:

#### 1) Metode *Geometrical Increase*

$$P_n = P_o + (1 + r) \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana :

$P_n$  = Jumlah penduduk pada tahun ke-n (jiwa)

$P_o$  = Jumlah penduduk pada awal tahun (jiwa)

$R$  = Prosentase pertumbuhan geometrical penduduk tiap tahun (%)

$n$  = Periode waktu yang ditinjau (tahun)

#### 2) Metode *Arithmetical Increase*

$$P_n = P_o + n.r \dots \dots \dots (2.3)$$

$$r = \frac{P_o - P_t}{t} \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana :

$P_n$  = Jumlah penduduk pada tahun ke-n (jiwa)

$P_o$  = Jumlah penduduk pada awal tahun proyeksi (jiwa)

$r$  = Angka pertumbuhan penduduk tiap tahun (%)

$n$  = Periode waktu yang ditinjau (tahun)

$t$  = Banyak tahun sebelum tahun analisis

### 2.3. Analisis Hidrologi

Hidrologi adalah bidang pengetahuan yang mempelajari kejadian-kejadian serta penyebab air alamiah di bumi. Faktor hidrologi yang sangat berpengaruh pada sekitar wilayah hulu Sungai Lusi adalah curah hujan (*presipitasi*). Curah hujan pada suatu daerah merupakan salah satu faktor yang menentukan besarnya debit banjir yang terjadi pada daerah yang menerimanya.

#### 2.3.1. Perhitungan Curah Hujan Wilayah

Data curah hujan dan debit merupakan data yang paling fundamental dalam perencanaan pembuatan embung. Ketetapan dalam memilih lokasi dan peralatan baik curah hujan maupun debit merupakan faktor yang menentukan kualitas data yang diperoleh. Analisa data hujan digunakan untuk mendapatkan besaran curah hujan dan analisa statistik yang digunakan dalam perhitungan debit banjir rencana. Data curah hujan yang dipakai untuk perhitungan dalam debit banjir adalah hujan yang terjadi pada daerah aliran sungai pada waktu yang sama.

Adapun metode yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rata-rata wilayah daerah aliran sungai (DAS) ada tiga macam cara :

##### 1. Cara Rata-Rata Aljabar

Tinggi rata-rata curah hujan yang didapatkan dengan mengambil nilai rata-rata hitung (*arithmetic mean*) pengukuran hujan di pos penakar-penakar hujan di dalam areal tersebut. Jadi cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika pos-pos penakarnya ditempatkan secara merata di areal tersebut, dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal (*CD Soemarto, 1999*).

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

$\bar{d}$  = tinggi curah hujan rata-rata (mm)

$d_1, d_2, d_n$  = tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2, ..., n (mm)

n = banyaknya pos penakar

2. Cara Poligon Thiessen

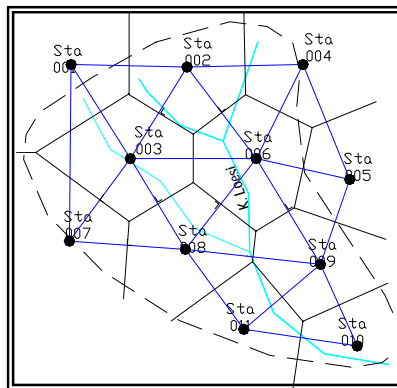
Menurut Kiyotaka Mori *dkk*, dalam buku Hidrologi Untuk Pengairan Ir. Suyono Sosrodarsono (1977) bahwa metode ini sering digunakan pada analisa hidrologi karena metode ini lebih teliti dan obyektif dibanding metode lainnya dan metode ini dapat digunakan pada daerah yang memiliki titik pengamatan yang tidak merata. Cara ini adalah dengan memasukkan faktor pengaruh daerah yang mewakili oleh stasiun hujan yang disebut faktor pembobotan atau koefisien *Thiessen*. Stasiun hujan yang dipilih, harus meliputi daerah aliran sungai yang akan dibangun. Besarnya koefisien *Thiessen* tergantung dari luas daerah pengaruh stasiun hujan yang dibatasi oleh poligon-poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung stasiun. Setelah luas pengaruh tiap-tiap stasiun didapat, maka koefisien *Thiessen* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (*CD Soemarto, 1999*) :

$$C = \frac{A_i}{A_{total}} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana :

- C = Koefisien *Thiessen*
- A<sub>i</sub> = Luas pengaruh dari stasiun pengamatan I (km<sup>2</sup>)
- A = Luas total dari DAS (km<sup>2</sup>)
- $\bar{R}$  = Curah hujan rata-rata(mm)
- R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>,...,R<sub>n</sub> = Curah hujan pada setiap titik pengukuran (mm)



Gambar 2.1. Metode Thiessen

Bagian  $A_1, A_2, \dots, A_n$  ditentukan dengan cara seperti berikut:

1. Cantumkan titik pengamatan di dalam dan di sekitar daerah itu pada peta topografi skala 1 : 50.000, kemudian hubungkan setiap titik yang berdekatan dengan sebuah garis lurus (dengan demikian akan terlukis jaringan segitiga yang menutupi seluruh daerah).
2. Daerah yang bersangkutan itu dibagi dalam polygon-polygon yang didapatkan dengan menggambar garis tegak lurus berpasangan pada setiap sisi segitiga tersebut di atas. Curah hujan dalam tiap poligon itu dianggap diwakili oleh curah hujan dari titik pengamatan dalam tiap poligon itu (lihat *gambar 2.1.*). Luas tiap poligon diukur dengan planimeter atau dengan cara lain.

3. *Cara Isohyet*

Dengan cara ini, kita dapat menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (*isohyet*), seperti terlihat pada *gambar 2.2* kemudian luas bagian diantara *isohyet-isohyet* yang berdekatan diukur dan nilai rata-rata dihitung sebagai nilai rata-rata timbang nilai kontur sebagai berikut (*CD Soemarto, 1999*) :

$$\bar{d} = \frac{\frac{d_0+d_1}{2} A_1 + \frac{d_1+d_2}{2} A_2 + \dots + \frac{d_{n-1}+d_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.8)$$

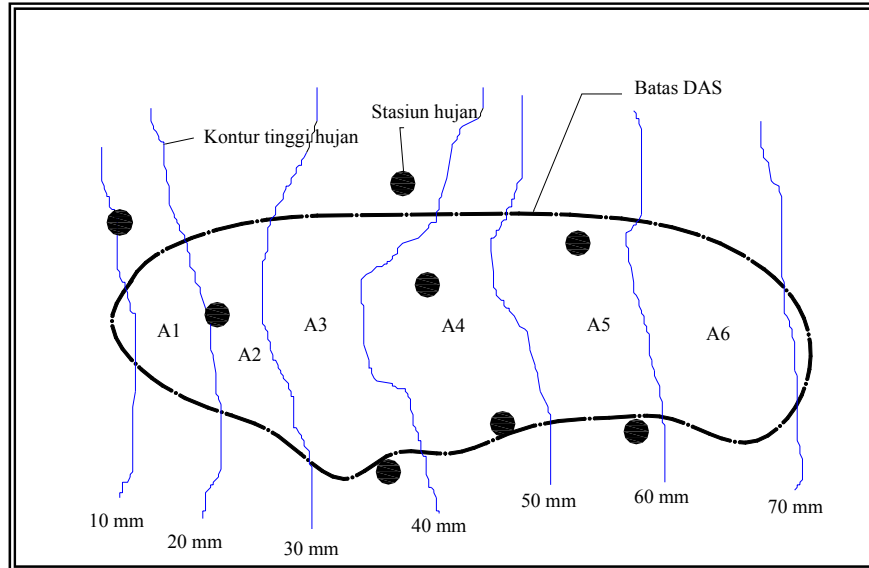
$$= \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{i-1}+d_i}{2} A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{i-1}+d_i}{2} A_i}{A}$$

dimana :

A =  $A_1 + A_2 + \dots + A_n$  (km<sup>2</sup>)

$\bar{d}$  = tinggi curah hujan rata-rata area (mm)

$d_0, d_1, d_n$  = curah hujan pada isohyet 0, 1, 2, ..., n (mm)



Gambar 2.2. Metode Isohyet

4. Melengkapi Data Curah Hujan

Dalam analisa curah hujan diperlukan data yang lengkap dalam arti kualitas dan panjang datanya. Data curah hujan biasanya terdapat beberapa waktu karena sesuatu hal (rusak dsb) maka data pada saat yang bersamaan tidak ada, atau data curah hujan yang akan digunakan dianggap kurang panjang waktu pencatatan. Untuk melengkapi data yang hilang atau rusak diperlukan data dari stasiun lain yang memiliki data lengkap dan diusahakan letak stasiunnya paling dekat dengan stasiun yang hilang datanya. Untuk perhitungan data yang hilang digunakan dua rumus, yaitu :

Rumus pertama:

$$R_x = \frac{1}{n} \left( \frac{\overline{R_x}}{R_A} R_A + \frac{\overline{R_x}}{R_B} R_B + \dots + \frac{\overline{R_x}}{R_n} R_n \right) \dots \dots \dots (2.9)$$

dimana :

- $R_x$  = Curah hujan stasiun yang datanya dicari (mm)
- $R_A, R_B, \dots$  dan  $R_n$  = Curah hujan stasiun A, stasiun B, .... dan stasiun n (mm)
- $\overline{R_x}$  = Rata-rata curah hujan tahunan stasiun yang datanya dicari (mm)



$\overline{R}_A$ ,  $\overline{R}_B$  dan  $\overline{R}_n$  = Rata-rata curah hujan tahunan stasiun A, stasiun B dan stasiun n (mm)

Rumus kedua :

Memakai metode *Reciprocal*, yaitu menggunakan data curah hujan referensi dengan mempertimbangkan jarak stasiun yang dilengkapi datanya dengan referensi tersebut atau dengan persamaan matematis sebagai berikut:

$$H_h = \frac{\left(\frac{H_{r1}}{L_1^2}\right) + \left(\frac{H_{r2}}{L_2^2}\right) + \left(\frac{H_{r3}}{L_3^2}\right) + \dots + \left(\frac{H_{rn}}{L_n^2}\right)}{\left(\frac{1}{L_1^2}\right) + \left(\frac{1}{L_2^2}\right) + \left(\frac{1}{L_3^2}\right) + \dots + \left(\frac{1}{L_n^2}\right)} \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana,

$H_h$  = hujan di stasiun yang akan dilengkapi (mm)

$H_1 \dots H_n$  = hujan distasiun referensi (mm)

$L_1 \dots L_n$  = jarak referensi dengan data stasiun yang dimaksud (km)

### 2.3.2. Analisis Frekuensi

Dari curah hujan rata-rata dari berbagai stasiun yang ada di daerah aliran sungai, selanjutnya dianalisis secara statistik untuk mendapatkan pola sebaran data curah hujan yang sesuai dengan pola sebaran data curah hujan rata-rata.

#### 2.3.2.1. Pengukuran Dispersi

Pada kenyataannya bahwa tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat dari sebaran varian disekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi.

Adapun cara pengukuran dispersi antara lain :

##### a. Koefisien Skewness (CS)

Kemencengan (*Skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak semistrisan dari suatu bentuk distribusi.

Rumus :

$$CS = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots (2.11)$$

di mana :

CS = koefisien *Skewness*

$X_i$  = Nilai varian ke  $i$

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata varian

$n$  = Jumlah data

$S$  = Deviasi standar

b. *Pengukuran Kurtosis*

Pengukuran kurtosis dimaksud untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

Rumus :

$$CK = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S^4} \dots\dots\dots (2.12)$$

di mana :

CK = Koefisien Kurtosis

$X_i$  = Nilai varian ke  $i$

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata varian

$n$  = Jumlah data

$S$  = Deviasi standar

c. *Koefisien Variasi (CV)*

Koefisien Variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung suatu distribusi.

Rumus

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.13)$$

di mana :

CV = Koefisien variasi

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata varian

Dari nilai-nilai di atas, kemudian dilakukan pemilihan jenis sebaran yaitu dengan membandingkan koefisien distribusi dari metode yang akan digunakan.

### 2.3.3. Perhitungan Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana digunakan untuk memperkirakan besarnya hujan dengan periode ulang tertentu. Berdasarkan curah hujan rencana tersebut kemudian dicari intensitas hujan yang digunakan untuk mencari debit banjir rencana.

Untuk meramal curah hujan rencana dilakukan dengan analisa frekuensi data hujan. Ada beberapa metode analisa frekuensi yang dapat digunakan yaitu:

#### 1. Metode Gumbel Tipe I

Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode distribusi Gumble Tipe I digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut (Soewarno, 1995):

$$X_T = \bar{X} + \frac{S}{S_n}(Y_T - Y_n) \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana :

$X_T$  = nilai variat yang diharapkan terjadi.

$\bar{X}$  = nilai rata-rata hitung variat

S = Standar Deviasi (simpangan baku)

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

$Y_T$  = nilai reduksi variant dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu hubungan antara periode ulang T dengan  $Y_T$  dapat dilihat pada *tabel 2.7* atau dapat dihitung dengan rumus :

$$Y_T = -\ln \left[ -\ln \frac{T-1}{T} \right] ; \text{ untuk } T \geq 20, \text{ maka } Y = \ln T$$

$Y_n$  = nilai rata-rata dari reduksi variat (*mean of reduce variate*) nilainya tergantung dari jumlah data (n) dan dapat dilihat pada *tabel 2.5*

$S_n$  = deviasi standar dari reduksi variat (*mean of reduced variate*) nilainya tergantung dari jumlah data (n) dan dapat dilihat pada *tabel 2.6*

Tabel 2.5. Reduced mean ( $Y_n$ )

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5300	0,5820	0,5882	0,5343	0,5353
30	0,5363	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5400	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5463	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5468	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									

Sumber : CD Soemarto, 1999

Tabel 2.6. Reduced Standard Deviation ( $S_n$ )

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2046	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

Sumber : CD Soemarto, 1999

Tabel 2.7. Reduced Variate ( $Y_i$ )

Periode Ulang	Reduced Variate
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
1.000	6,9190
5.000	8,5390
10.000	9,9210

Sumber : CD Soemarto, 1999

## 2. Metode Distribusi Log Pearson III

Metode Log Pearson III apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995):

$$Y = \bar{Y} + k.S \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana :

X = curah hujan (mm)

Y = nilai logaritmik dari X atau log X

$\bar{Y}$  = rata-rata hitung (lebih baik rata-rata geometrik) nilai Y

S = deviasi standar nilai Y

k = karakteristik distribusi peluang log-pearson tipe III (dapat dilihat pada tabel 2.8)

Langkah-langkah perhitungan kurva distribusi Log Pearson Tipe III adalah :

1. Tentukan logaritma dari semua nilai variat X

2. Hitung nilai rata-ratanya :

$$\overline{\log(X)} = \frac{\sum \log(X)}{n}$$

3. Hitung nilai deviasi standarnya dari log X :

$$S \log(X) = \sqrt{\frac{\sum (\log(X) - \overline{\log(X)})^2}{n-1}}$$

4. Hitung nilai koefisien kemencengan (CS) :

$$CS = \frac{n \sum (\log(X) - \overline{\log(X)})^3}{(n-1)(n-2)(S \log(X))^3}$$

sehingga persamaannya dapat ditulis :

$$\log X = \overline{\log(X)} + k(S \log(X))$$

Tentukan anti log dari log X, untuk mendapatkan nilai X yang diharapkan terjadi pada tingkat peluang atau periode ulang tertentu sesuai dengan nilai CS-nya. Nilai k dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2.8. Harga k untuk Distribusi Log Pearson III

Kemencengan (CS)	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
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	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,761	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	1,035	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 : Soewarno, 1995

3. Metode Log Normal

Metode Log Normal apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$X = \bar{X} + k.S \dots\dots\dots (2.16)$$

di mana:

X = nilai yang diharapkan akan terjadi pada periode ulang tertentu.

$\bar{X}$  = nilai rata-rata kejadian dari variabel kontinyu X

S = deviasi standar variabel kontinyu X.

k = karakteristik distribusi peluang log-normal 3 parameter yang merupakan fungsi dari koefisien kemencengan CS (lihat tabel 2.9.)

Tabel 2.9. Faktor frekuensi k untuk distribusi log normal 3 parameter

Koefisien Kemencengan (CS)	Peluang kumulatif (%)					
	50	80	90	95	98	99
	Periode Ulang ( tahun )					
	2	5	10	20	50	100
-2,00	0,2366	-0,6144	-1,2437	-1,8916	-2,7943	-3,5196
-1,80	0,2240	-0,6395	-1,2621	-1,8928	-2,7578	-3,4433
-1,60	0,2092	-0,6654	-1,2792	-1,8901	-2,7138	-3,3570
-1,40	0,1920	-0,6920	-1,2943	-1,8827	-2,6615	-3,2601
-1,20	0,1722	-0,7186	-1,3067	-1,8696	-2,6002	-3,1521
-1,00	0,1495	-0,7449	-1,3156	-1,8501	-2,5294	-3,0333
-0,80	0,1241	-0,7700	-1,3201	-1,8235	-2,4492	-2,9043
-0,60	0,0959	-0,7930	-0,3194	-1,7894	-2,3600	-2,7665
-0,40	0,0654	-0,8131	-0,3128	-1,7478	-2,2631	-2,6223
-0,20	0,0332	-0,8296	-0,3002	-1,6993	-2,1602	-2,4745
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,20	-0,0332	0,8996	0,3002	1,5993	2,1602	2,4745
0,40	-0,0654	0,8131	0,3128	1,7478	2,2631	2,6223
0,60	-0,0959	0,7930	0,3194	1,7894	2,3600	2,7665
0,80	-0,1241	0,7700	1,3201	1,8235	2,4492	2,9043
1,00	-0,1495	0,7449	1,3156	1,8501	2,5294	3,0333
1,20	-0,1722	0,7186	1,30567	1,8696	2,6002	3,1521
1,40	-0,1920	0,6920	1,2943	1,8827	2,6615	3,2601
1,60	-0,2092	0,6654	1,2792	1,8901	2,7138	3,3570
1,80	-0,2240	0,6395	1,2621	1,8928	2,7578	3,4433
2,00	-0,2366	0,6144	1,2437	1,8916	2,7943	3,5196

Sumber : Soewarno, 1995

#### 2.3.4. Pemilihan Jenis Sebaran

Ada berbagai macam distribusi teoretis yang kesemuanya dapat dibagi menjadi dua yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Yang diskrit adalah binomial dan poisson, sedangkan yang kontinyu adalah Normal, Log Normal, Pearson dan Gumbel.

Untuk memilih jenis sebaran, ada beberapa macam distribusi yang sering dipakai yaitu :

*a Distribusi Normal*

Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekwensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan.

Distribusi tipe normal, tidak mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skwennes*) atau  $CS = 0$

*b Distribusi Log Normal*

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X. Distribusi ini dapat diperoleh juga dari distribusi Log Person Tipe III, apabila nilai koefisien kemencengan  $CS = 0$ .

Distribusi tipe Log Normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skwennes*) atau  $CS = 3 CV + CV^3$

*c Distribusi Gumbel I*

Distribusi Tipe I Gumbel atau Distribusi Extrim Tipe I digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekwensi banjir.

Distribusi Tipe I Gumbel, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skwennes*) atau  $CS = 1,139$  dan koefisien kurtosis (*Coeficient Curtosis*) atau  $Ck < 4,002$ .

*d Distribusi Log Person Tipe III*

Distribusi Log Pearson Tipe III atau Distribusi Extrim Tipe III digunakan untuk analisis variabel hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis frekwensi distribusi dari debit minimum (*low flows*).



Distribusi Log Pearson Tipe III, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skwennes*) atau  $CS \neq 0$ .

Setelah pemilahan jenis sebaran dilakukan maka prosedur selanjutnya yaitu mencari curah hujan rencana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.

### 2.3.5. Uji Keselarasan

Uji keselarasan dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisa. Ada dua jenis keselarasan (*Goodnes of Fit Test*), yaitu uji keselarasan *Chi Square* dan *Smirnov Kolmogorof*. Pada tes ini biasanya yang diamati adalah nilai hasil perhitungan yang diharapkan.

#### 1. Uji keselarasan *Chi Square*

Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut atau dengan membandingkan nilai *chi square* ( $f^2$ ) dengan nilai *Chi Square* kritis ( $f^2_{cr}$ ).

Rumus :

$$f^2 = \sum \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.17)$$

dimana :

$f^2$  = harga *chi square*

$O_i$  = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-1

$E_i$  = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-1

Dari hasil pengamatan yang didapat dicari penyimpangannya dengan *chi square* kritis (didapat dari tabel 2.10.) paling kecil. Untuk suatu nilai nyata tertentu (*level of significant*) yang sering diambil adalah 5%. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Dk = n - 3 \dots\dots\dots (2.18)$$

dimana :

$Dk$  = derajat kebebasan

$n$  = banyaknya rata-rata

Tabel 2.10. Nilai kritis untuk distribusi Chi-Square

Dk	$\alpha$ derajat kepercayaan							
	0,995	0,990	0,975	0,950	0,050	0,025	0,010	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,41	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

Sumber : Soewarno, 1995

2. Uji keselarasan Smirnov Kolmogorof

Pengujian kecocokan sebaran dengan metode ini dilakukan dengan membandingkan probabilitas untuk tiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat perbedaan ( $\Delta$ ) tertentu. Perbedaan maksimum yang dihitung ( $\Delta_{maks}$ ) dibandingkan dengan perbedaan kritis ( $\Delta_{cr}$ ) untuk suatu derajat nyata dan banyaknya variat tertentu, maka sebaran sesuai jika ( $\Delta_{maks}$ ) < ( $\Delta_{cr}$ ).

Rumus :

$$\alpha = \frac{P_{max}}{P_{(x)}} - \frac{P_{(xi)}}{\Delta_{Cr}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Tabel 2.11. Nilai delta maksimum untuk uji keselarasan Smirnov Kolmogorof

N	$\alpha$			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n>50	1,07/n	1,22/n	1,36/n	1,63/n

Sumber : Soewarno, 1995

2.3.6. Perhitungan Intensitas Curah Hujan

Untuk menentukan Debit Banjir Rencana (*Design Flood*), perlu didapatkan harga suatu Intensitas Curah Hujan terutama bila digunakan metoda rasional. Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi. Analisa intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau.

Untuk menghitung intensitas curah hujan dapat digunakan beberapa rumus empiris sebagai berikut (*CD Soemarto, 1999*) :

1. Menurut Dr. Mononobe

Rumus ini digunakan apabila data curah hujan yang tersedia hanya curah hujan harian .

Rumus :

$$I = \frac{R_{24}}{24} * \left[ \frac{24}{t} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

R<sub>24</sub> = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t = lamanya curah hujan (jam)

2. Menurut Sherman

Rumus :

$$I = \frac{a}{t^b} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\log a = \frac{\sum_{i=1}^n (\log i) \sum_{i=1}^n (\log t)^2 - \sum_{i=1}^n (\log t \cdot \log i) \sum_{i=1}^n (\log t)}{n \sum_{i=1}^n (\log t)^2 - \left( \sum_{i=1}^n (\log t) \right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (\log i) \sum_{i=1}^n (\log t) - n \sum_{i=1}^n (\log t \cdot \log i)}{n \sum_{i=1}^n (\log t)^2 - \left( \sum_{i=1}^n (\log t) \right)^2}$$

dimana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (menit)

a,b = konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran.

n = banyaknya pasangan data i dan t

3. Menurut Talbot

Rumus :

$$I = \frac{a}{(t + b)} \dots\dots\dots (2.22)$$

dimana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (menit)

a,b = konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran.

n = banyaknya pasangan data i dan t

$$a = \frac{\sum_{j=1}^n (i.t) \sum_{j=1}^n (i^2) - \sum_{j=1}^n (i^2.t) \sum_{i=1}^n (i)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[ \sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n (i) \sum_{j=1}^n (i.t) - n \sum_{j=1}^n (i^2.t)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[ \sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

4. Menurut Ishiguro

Rumus :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b} \dots\dots\dots (2.23)$$

dimana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

T = lamanya curah hujan (menit)

a,b = konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran

n = banyaknya pasangan data i dan t

$$a = \frac{\sum_{j=1}^n (i.\sqrt{t}) \sum_{j=1}^n (i^2) - \sum_{j=1}^n (i^2.\sqrt{t}) \sum_{j=1}^n (i)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[ \sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n (i) \sum_{j=1}^n (i.\sqrt{t}) - n \sum_{j=1}^n (i^2.\sqrt{t})}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[ \sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

2.3.7. Perhitungan Debit Banjir Rencana

Untuk mencari debit banjir rencana dapat digunakan beberapa metode diantaranya hubungan empiris antara curah hujan dengan limpasan. Metode ini paling banyak dikembangkan sehingga didapat beberapa rumus diantaranya sebagai berikut :

1. Rumus Rasional

Rumus :

$$Q_r = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6} = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2.24)$$

dimana :

- Q<sub>r</sub> = debit maksimum rencana (m<sup>3</sup>/det)
- I = intensitas curah hujan selama konsentrasi (mm/jam)
- A = luas daerah aliran (km<sup>2</sup>)
- C = koefisien *run off*

Koefisien *run off*.

Koefisien *run off* dipengaruhi oleh jenis lapis permukaan tanah. Setelah melalui berbagai penelitian, didapatkan koefisien *run off* seperti yang tertulis dalam tabel 2.12.

Tabel 2.12. Harga koefisien runoff (C)

Type Daerah Aliran		Harga C
Perumputan	Tanah pasir, datar, 2%	0,05-0,10
	Tanah pasir, rata-rata 2-7%	0,10-0,15
	Tanah pasir, curam 7%	0,15-0,20
	Tanah gemuk, datar 2%	0,13-0,17
	Tanah gemuk rata-rata 2-7%	0,18-0,22
	Tanah gemuk, curam 7%	0,25-0,35
Business	Daerah kota lama	0,75-0,95
	Daerah pinggiran	0,50-0,70
Perumahan	Daerah "single family	0,30-0,50
	"multi unit"terpisah-pisah	0,40-0,60
	"multi unit"tertutup	0,60-0,75
	"sub urban"	0,25-0,40
	daerah rumah-rumah apartemen	0,50-0,70
Industri	Daerah ringan	0,50-0,80
	Daerah berat	0,60-0,90
Pertamanan		0,10-0,25
Tempat bermain		0,20-0,35
Halaman kereta api		0,20-0,40

Sumber : Joesron Loebis,1987

2. *Rumus Melchior*

Digunakan untuk luas DAS >100 km<sup>2</sup>.

Rumus :

$$Q = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \dots\dots\dots (2.25)$$

1. Koefisien *run off* ( $\alpha$ )

Koefisien ini merupakan perbandingan antara *run off* dengan hujan.

Rumus :  $0,42 \leq \alpha \leq 0,62$  (diambil 0,52)

2. Koefisien Reduksi ( $\beta$ )

Koefisien ini digunakan untuk mendapatkan hujan rata-rata dari hujan maksimum.

Rumus :

$$f = (1970/(\beta - 0,12)) - 3960 + 172 \dots\dots\dots (2.26)$$

3. Waktu konsentrasi (t)

Rumus :

$$t = 0,186 \cdot L \cdot Q^{-0,2} \cdot I^{-0,4} \dots\dots\dots (2.27)$$

dimana :

t = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang sungai (km)

Q = debit puncak (m<sup>3</sup>/det)

I = kemiringan rata-rata sungai

3. *Rumus Der Weduwen*

Digunakan untuk luas DAS ≤ 100 km<sup>2</sup>.

Rumus :

$$Q_n = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \dots\dots\dots (2.28)$$

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta \cdot q + 7} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9} \cdot A}{120 + A} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$q_n = \frac{R_n}{240} \cdot \frac{67,65}{t+1,45} \dots\dots\dots (2.31)$$

$$t = 0,25.L.Q^{-0,125} . I^{-0,25} \dots\dots\dots (2.32)$$

dimana :

- Q<sub>n</sub> = debit banjir (m<sup>3</sup>/det) dengan kemungkinan tak terpenuhi n %
- R<sub>n</sub> = curah hujan harian maksimum (mm/hari) dengan kemungkinan tak terpenuhi n %
- α = koefisien limpasan air hujan (*run off*)
- β = koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS
- q<sub>n</sub> = curah hujan (m<sup>3</sup>/det.km<sup>2</sup>)
- A = luas daerah aliran (km<sup>2</sup>)sampai 100 km<sup>2</sup>
- t = lamanya curah hujan (jam) yaitu pada saat-saat kritis curah hujan yang mengacu pada terjadinya debit puncak, tidak sama dengan waktu konsentrasi Melchior
- L = panjang sungai (km)
- I = gradien (Melchior) sungai atau medan

4. Rumus Haspers

Rumus :

$$Q_n = \alpha.\beta.q_n.A \dots\dots\dots (2.33)$$

$$\alpha = \frac{1 + 0,012.A^{0,70}}{1 + 0,075.A^{0,70}} \dots\dots\dots (2.34)$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,70.10^{-0,40t}}{t^2 + 15} \cdot \frac{A^{0,75}}{12} \dots\dots\dots (2.35)$$

$$q_n = \frac{t.R_n}{3,6.t} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$t = 0,10.L^{0,80} . i^{-0,30} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$R_n = \frac{t.R_t}{t + 1} \dots\dots\dots (2.38)$$

dimana :

- Q<sub>n</sub> = debit banjir rencana periode ulang T tahun (m<sup>3</sup>/det)
- R<sub>n</sub> = curah hujan harian maksimum rencana periode ulang T tahun (mm/hari)
- α = koefisien limpasan air hujan (*run off*)
- β = koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS
- q<sub>n</sub> = curah hujan (m<sup>3</sup>/det.km<sup>2</sup>)



- A = luas daerah aliran sungai (DAS) (km<sup>2</sup>)  
t = lamanya curah hujan (jam) yaitu pada saat-saat kritis curah hujan yang mengacu pada terjadinya debit puncak, tidak sama dengan waktu konsentrasi Melchior  
L = panjang sungai (km)  
i = kemiringan dasar sungai

Selain dengan menggunakan metode di atas, untuk menentukan debit banjir rencana dapat digunakan beberapa metode sebagai berikut :

5. *Metode Manual Jawa Sumatra.*

Pada tahun 1982-1983 IOH (*Institute of Hidrology*), Wallingford, Oxon, Inggris bersama-sama dengan DPMA (Direktorat Penyelidikan Masalah Air) DPU, telah melaksanakan penelitian untuk menghitung debit puncak banjir. Perhitungan debit puncak banjir yang diharapkan terjadi pada peluang atau periode ulang tertentu berdasarkan ketersediaan data debit banjir dengan cara analisis statistik untuk Jawa dan Sumatra.

Perkiraan debit puncak banjir tahunan rata-rata berdasarkan ketersediaan data dari suatu DPS, dengan ketentuan :

- a. Apabila tersedia data debit, minimal 10 tahun data runtut waktu maka, MAF dihitung berdasarkan data serial debit puncak banjir tahunan.
- b. Apabila tersedia data debit kurang dari 10 tahun data runtut waktu, maka MAF dihitung berdasarkan metode puncak banjir di atas ambang (*Peak over a threshold = POT*).
- c. Apabila dari DPS tersebut belum tersedia data debit, maka MAF ditentukan dengan persamaan regresi berdasarkan data luas DPS (AREA), rata-rata tahunan dari curah hujan terbesar dalam satu hari (APBAR), kemiringan sungai (SIMS), dan indek dari luas genangan seperti luas danau, genangan air, waduk (LAKE).

*Memperkirakan MAF :*

Perhitungan debit puncak banjir tahunan rata-rata (MAF) dapat dilakukan dengan 3 metode (*Soewarno, 1995*) yaitu :

(1) Metode serial data (data series).

Dalam penerapan metode serial data, untuk memperkirakan debit puncak banjir tahunan rata-rata, dilaksanakan dengan mengumpulkan data debit puncak banjir terbesar setiap satu tahun, dimana penelitian dilaksanakan minimal 10 tahun.

Dalam metode serial data, perhitungan MAF dapat dilaksanakan dengan 2 cara, tergantung terdapat tidaknya nilai debit puncak banjir yang terlalu besar, yaitu :

$$1. \text{ Apabila } XR = \frac{X_{\max}}{X_{\text{med}}} < 3,0 \dots\dots\dots (2.39)$$

$$\text{Maka : } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \dots\dots\dots (2.40)$$

$$S_x = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$2. \text{ Apabila } XR = \frac{X_{\max}}{X_{\text{med}}} \geq 3,0 \dots\dots\dots (2.42)$$

$$\text{Maka : } \bar{X} = 1,06 \times X_{\text{med}} \dots\dots\dots (2.43)$$

dimana :

XR = nilai debit puncak banjir (m<sup>3</sup>/det)

X<sub>mak</sub> = debit puncak banjir terbesar selama periode pengamatan (m<sup>3</sup>/det)

X<sub>med</sub> = median debit puncak banjir terbesar (m<sup>3</sup>/det)

$\bar{X}$  = debit puncak banjir tahunan rata-rata

S<sub>x</sub> = deviasi standar MAF

N = jumlah data / lama periode pengamatan

Untuk memperkirakan besarnya debit puncak banjir yang dapat diharapkan terjadi pada tingkat peluang atau periode ulang tertentu, maka didapat dengan cara mengkalikan MAF dengan besarnya faktor pembesar yang merupakan fungsi dari besarnya periode ulang T dan Luas DPS.

Besarnya debit puncak banjir pada periode ulang tertentu dapat dihitung dengan model matematik :

$$X_T = C \times \bar{X} \dots\dots\dots (2.44)$$

$$S_{XT} = X_T \left( \left( \frac{S_C}{C} \right)^2 + \left( \frac{S_X}{\bar{X}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.45)$$

$$S_C = 0,16 \times (\log T) \times (C) \dots\dots\dots (2.46)$$

$$S_X = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.47)$$

di mana :

$X_T$  = debit puncak banjir pada periode ulang tahun T (m<sup>3</sup>/det)

C = faktor pembesar (lihat tabel 2.13)

$\bar{X}$  = debit puncak banjir tahunan rata-rata (m<sup>3</sup>/det)

$S_{XT}$  = deviasi standar  $X_T$

$S_C$  = deviasi standar C

$S_X$  = deviasi standar dari  $\bar{X}$

Tabel 2.13. Nilai Faktor Pembesar ( C )

Periode Ulang T	Variasi Reduksi Y	Luas DPS ( km <sup>2</sup> )					
		<180	300	600	900	1.200	>1.500
5	1,50	1,28	1,27	1,24	1,22	1,19	1,17
10	2,25	1,56	1,54	1,48	1,44	1,41	1,37
20	2,97	1,88	1,84	1,75	1,70	1,64	1,59
50	3,90	2,35	2,30	2,18	2,10	2,03	1,96
100	4,60	2,78	2,72	2,57	2,47	2,37	2,27
200	5,30	3,27	3,20	3,01	2,89	3,78	2,66
500	6,21	4,01	3,92	3,70	3,56	3,41	3,27
1.000	6,91	4,68	4,58	4,32	4,16	4,01	3,85

Sumber : Soewarno 1995

(2)Metode POT (*Peaks Over Threshold series*).

Apabila pengamatan data debit kurang dari 10 tahun data, umumnya kurang teliti untuk memperkirakan nilai MAF oleh karena itu disarankan memperhatikan MAF dengan metode puncak banjir diatas ambang (POT). Metode POT disarankan tidak digunakan apabila lama pengamatan data debit kurang dari 2 tahun

Setiap tahun data dipilih puncak banjir sebanyak 2 sampai 5 buah. Data debit selama tahun pengamatan ditentukan nilai batas ambangnya ( $q_0$ ) dan selanjutnya ditentukan nilai debit puncak banjir yang lebih besar dari ( $q_0$ ).

Pemilihan nilai ( $q_0$ ), dapat ditentukan dari grafik hidrograf muka air yang terekam dalam grafik tinggi muka air otomatis (AWLR). Berdasarkan nilai ( $q_0$ ) yang ditentukan dari tinggi muka air AWLR, maka dengan bantuan lengkung debit dapat diperkirakan nilai debit yang besarnya lebih besar dari ( $q_0$ ).

Debit banjir tahunan rata-rata dengan metode POT, dapat diperkirakan dengan persamaan model matematik sebagai berikut :

$$\bar{X} = X_0 + B(0,5772 + \ln A) \dots\dots\dots (2.48)$$

$$B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (X_i - X_0) \dots\dots\dots (2.49)$$

$$A = \frac{m}{n} \dots\dots\dots (2.50)$$

$$S_X = 1,1 \frac{B}{\sqrt{n}} \text{ (bila } m \geq 3 \text{ pertahun)} \dots\dots\dots (2.51)$$

$$S_X = \frac{B}{\sqrt{n}} \left( \frac{1}{A} + \frac{(0,5772 + \ln A)^2}{A} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ (bila } m < 3 \text{ pertahun)} \dots\dots (2.52)$$

di mana :

$\bar{X}$  = debit puncak banjir tahunan rata-rata (MAF)

$X_0$  = debit batas ambang ( $q_0$ )

B = rata-rata terlampaui (*mean exceedence*)

$X_i$  = debit puncak lebih besar dari  $X_0$

m = jumlah puncak banjir

$n$  = lama tahun pengamatan ( $n$ -tahun)

$S_x$  = deviasi standar  $\bar{X}$

$A$  = jumlah puncak banjir terlampaui (*number of exceedence*) pertahun.

(3) *Metode Regresi (regression equation).*

Apabila dalam suatu DPS tidak tersedia data debit aliran sungai, maka metode ini dapat digunakan. Parameter yang diperlukan untuk menerapkan metode persamaan regresi ini adalah :

- 1). Luas Daerah Pengaliran (AREA, km<sup>2</sup>).
- 2). Rata-rata tahunan dari hujan tahunan terbesar dalam 1 hari (APBAR, mm) seluruh DPS.
- 3). Index kemiringan (SIMS, m/km)
- 4). Index danau (LAKE, proporsi dari DPS, tanpa satuan)

**Penentuan Parameter.**

1) *AREA*

Luas DPS ditentukan dari peta topografi dari skala terbesar yang telah tersedia (skala 1:50.000).

2) *APBAR*

Untuk mendapatkan data APBAR (*mean annual maximum catchment 1 day rainfall*), dapat dihitung dari serial data curah hujan terbesar 1 hari, seluruh DPS dengan menghitung rata-ratanya menggunakan metode Isohyet hujan maximum satu titik rata-rata tahunan (PBAR) (*mean annual maximum 1 day point rainfall*). APBAR dihitung dengan rumus :

$$APBAR = PBAR \times ARF \dots\dots\dots (2.53)$$

di mana :

APBAR = rata-rata tahunan dari hujan terbesar dalam 1 hari seluruh DPS.

PBAR = nilai rata-rata tahunan dari curah hujan terbesar 1 hari dari peta Isohyet curah hujan maximum 1 hari yang dibuat data curah hujan terbesar rata-rata tahunan dari setiap pos hujan.

ARF = faktor reduksi luas yang besarnya tergantung luas DPS

3) *SIMS*

Nilai SIMS adalah index yang menunjukkan besarnya kemiringan alur sungai, dihitung dengan rumus :

$$SIMS = \frac{h}{MSL} \dots\dots\dots (2.54)$$

di mana :

h = beda tinggi titik tertinggi dengan titik ketinggian lokasi yang diteliti (m).

MSL = panjang alur sungai utama.

4) *LAKE*

Nilai parameter LAKE harus berada  $0 = Lake \leq 0,25$ . Lake indek dihitung dengan rumus :

$$LAKE = \frac{Luas \text{ DPS sebelah hulu LAKE}}{Luas \text{ DPS}} \dots (2.55)$$

**Penggunaan Persamaan Regresi.**

Penentuan MAF, dengan membuat hubungan MAF dan parameter DPS. Model matematik yang digunakan adalah :

$$\bar{X} = a + bX_1 + cX_2 + \dots\dots\dots (2.56)$$

dimana:

$\bar{X}$  = MAF

$X_1, X_2, \dots$  = variabel bebas; parameter DPS

Apabila semua variabel ditransformasikan kedalam bentuk logaritma, maka persamaannya menjadi :

$$\text{Log } \bar{X} = A + B\text{log}X_1 + C\text{log}X_2 + \dots\dots\dots (2.57)$$

Atau dapat dinyatakan sebagai model matematik :

$$\bar{X} = 10^A \times X_1^B \times X_2^C \dots\dots\dots (2.58)$$

Berdasarkan persamaan di atas, maka untuk menentukan MAF di pulau Jawa dan Sumatra, berdasarkan 4 parameter DPS : AREA, APBAR, SIMS, dan LAKE telah diperoleh persamaan regresi, dengan model matematik :

$$\bar{X} = (8) \times (10^6) \times (AREA)^V \times (APBAR)^{2,445} \times (SIMS)^{0,117} \times (1+LAKE)^{0,85} \dots\dots\dots (2.59)$$

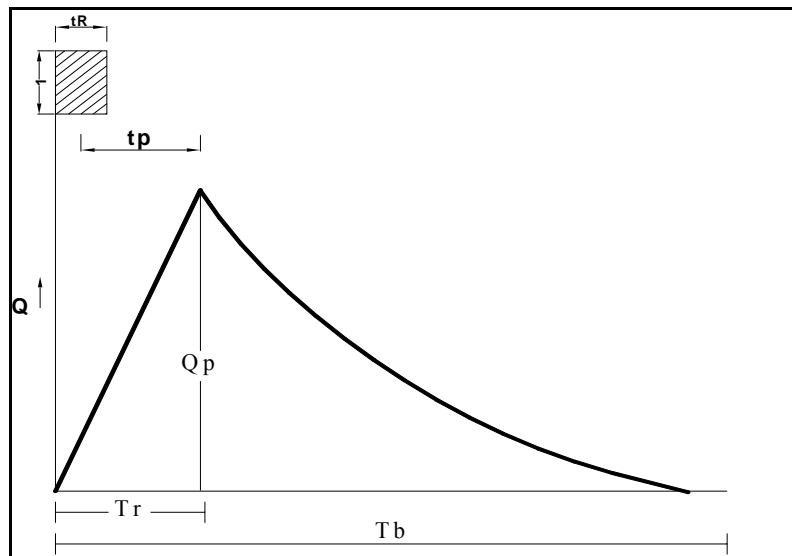
$$V = 1,02 - 0,0275 \log \text{AREA} \dots\dots\dots (2.60)$$

#### 6. Metode Analisis Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I.

Cara ini dipakai sebagai upaya untuk memperoleh *hidrograf* satuan suatu DAS yang belum pernah diukur. Dengan pengertian lain, tidak tersedia data pengukuran debit maupun data AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) pada suatu tempat tertentu dalam sebuah DAS (tidak ada stasiun hidrometer).

Hidrograf satuan sintetik secara sederhana dapat disajikan empat sifat dasarnya yang masing-masing disampaikan sebagai berikut :

1. Waktu naik (*Time of Rise, TR*), yaitu waktu yang diukur dari saat *hidrograf* mulai naik sampai saat terjadinya debit puncak.
2. Debit puncak (*Peak Discharge, Qp*).
3. Waktu dasar (*Base Time, TB*), yaitu waktu yang diukur dari saat *hidrograf* mulai naik sampai berakhirnya limpasan langsung atau debit sama dengan nol.
4. Koefisien tampungan (*Storage Coefficient*) yang menunjukkan kemampuan DAS dalam fungsinya sebagai tampungan air.



Gambar 2.3. Sketsa hidrograf satuan sintetis

Sisi naik *hidrograf* satuan diperhitungkan sebagai garis lurus sedang sisi resesi (*resession climb*) *hidrograf* satuan disajikan dalam persamaan eksponensial berikut:

$$Q_t = Q_p \cdot e^{-t/k} \dots\dots\dots (2.61)$$

dimana :

$Q_t$  = debit yang diukur dalam jam ke-t sesudah debit puncak dalam (m<sup>3</sup>/det)

$Q_p$  = debit puncak dalam (m<sup>3</sup>/det)

$t$  = waktu yang diukur dari saat terjadinya debit puncak (jam)

$k$  = koefisien tampungan dalam jam

a. Waktu capai puncak

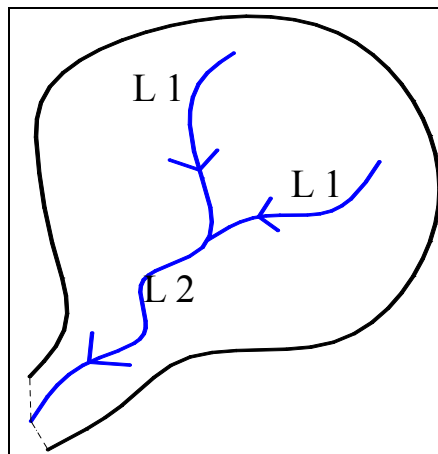
$$T_R = 0,43 \left[ \frac{L}{100 \cdot SF} \right]^3 + 1,06665 \cdot SIM + 1,2775 \dots\dots\dots (2.62)$$

dimana :

$T_R$  = waktu naik (jam)

$L$  = panjang sungai (km)

$SF$  = faktor sumber yaitu perbandingan antara jumlah semua panjang sungai tingkat 1 dengan jumlah semua panjang sungai semua tingkat

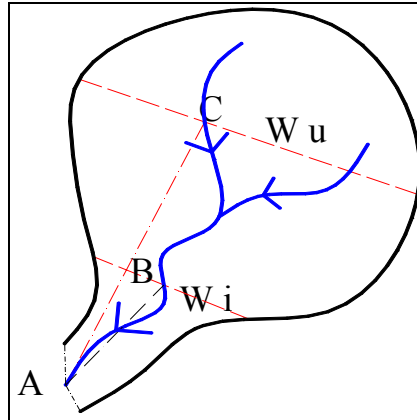


Gambar 2.4 Sketsa penetapan panjang dan tingkat sungai

$$SF = (L_1 + L_1) / (L_1 + L_1 + L_2)$$

$SIM$  = faktor simetri ditetapkan sebagai hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas relatif DAS sebelah hulu (RUA)





Gambar 2.5 Sketsa penetapan WF

$$A-B = 0,25 L$$

$$A-C = 0,75 L$$

$$WF = Wu/Wi$$

b. Debit puncak

$$Q_p = 0,1836.A^{0,5886} .T_R^{-0,0986} .JN^{0,2381} \dots\dots\dots (2.63)$$

dimana :

Qp = debit puncak (m<sup>3</sup>/det)

JN = jumlah pertemuan sungai

c. Waktu dasar

$$T_B = 27,4132.T_R^{0,1457} .S^{-0,0986} .SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \dots\dots\dots (2.64)$$

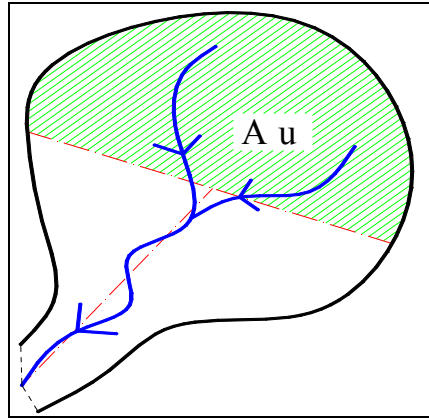
dimana :

TB = waktu dasar (jam)

S = landai sungai rata-rata

SN = frekuensi sumber yaitu perbandingan antara jumlah segmen sungai-sungai tingkat 1 dengan jumlah segmen sungai semua tingkat

RUA = perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun pengukuran dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS melewati titik tersebut dengan luas DAS total



Gambar 2.6 Sketsa penetapan RUA

$$RUA = Au/A$$

d.  $\Phi$  indeks

Penetapan hujan efektif untuk memperoleh *hidrograf* dilakukan dengan menggunakan indeks-infiltrasi. Untuk memperoleh indeks ini agak sulit, untuk itu dipergunakan pendekatan dengan mengikuti petunjuk Barnes (1959). Perkiraan dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh parameter DAS yang secara hidrologi dapat diketahui pengaruhnya terhadap indeks infiltrasi :

Persamaan pendekatannya adalah sebagai berikut :

$$\Phi = 10,4903 - 3,859 \times 10^{-6} \cdot A^2 + 1,6985 \times 10^{-13} (A/SN)^4 \dots\dots\dots (2.65)$$

e. *Aliran dasar*

Untuk memperkirakan aliran dasar digunakan persamaan pendekatan berikut ini. Persamaan ini merupakan pendekatan untuk aliran dasar yang tetap, dengan memperhatikan pendekatan Kraijenhoff Van Der Leur, 1967 (Dalam buku CD Sumarto, 1999) tentang *hidrograf* air tanah :

$$Qb = 0,4751 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,9430} \dots\dots\dots (2.66)$$

dimana :

QB = aliran dasar (m<sup>3</sup>/det)

A = luas DAS dalam km<sup>2</sup>

D = kerapatan jaringan kuras (*drainage density*)/indeks kerapatan sungai yaitu perbandingan jumlah panjang sungai semua tingkat dibagi dengan luas DAS.

f. Faktor tampungan

$$k = 0,5617.A^{0,1798} .S^{-0,1446} .SF^{-1,0897} .D^{0,0452} \dots\dots\dots (2.67)$$

dimana :

k = koefisien tampungan

2.3.8. Penelusuran Banjir (*Flood Routing*) Lewat Waduk

Penelusuran banjir adalah suatu prosedur untuk memperkirakan waktu dan besaran banjir di suatu titik sungai, berdasarkan data yang diketahui pada sungai sebelah hulu. Penelusuran banjir dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik *hidrograf outflow*/keluaran, yang sangat diperlukan dalam pengendalian banjir. Perubahan *hidrograf* banjir antara *inflow* (I) dan *outflow* (O) karena adanya faktor tampungan atau adanya penampang sungai yang tidak seragam atau akibat adanya meander sungai. Penelusuran banjir ada dua yaitu untuk mengetahui perubahan *inflow* dan *outflow* pada waduk dan *inflow* pada satu titik dengan suatu titik di tempat lain pada sungai.

Perubahan *inflow* dan *outflow* akibat adanya tampungan, sehingga pada suatu waduk terdapat inflow banjir (I) akibat adanya banjir dan *outflow* (O) apabila muka air waduk naik, di atas *spillway* (terdapat limpasan).

I > O tampungan waduk naik Elevasi muka air waduk naik.

I < O tampungan waduk turun Elevasi muka waduk turun.

Pada penelusuran banjir berlaku persamaan kontinuitas.

$$I - O = \Delta S \dots\dots\dots (2.68)$$

$\Delta S$  = Perubahan tampungan air di waduk

Persamaan kontinuitas pada periode  $\Delta t = t_1 - t_2$  adalah :

$$\left[ \frac{I1 + I2}{2} \right] * \Delta t - \left[ \frac{O1 + O2}{2} \right] * \Delta t = S2 - S1 \dots\dots\dots (2.69)$$

$I_1$  dan  $I_2$  diketahui dari hidrograf debit masuk ke waduk jika periode penelusuran delta t telah ditentukan.  $S_1$  merupakan tampungan waduk pada permulaan periode penelusuran yang diukur dalam datum fasilitas pengeluaran (puncak pelimpah).  $Q_1$  adalah debit yang keluar pada permulaan periode penelusuran.

Penelusuran lewat bangunan pelimpah erat kaitannya dengan penentuan tinggi puncak embung, sedangkan elevasi air embung maksimum tergantung dari dimensi dan tipe pelimpah.

### 2.3.9. Perhitungan Debit Inflow Waduk Rata - Rata

Perhitungan ini digunakan untuk masukan simulasi operasi waduk dalam pemanfaatan air. Metode digunakan adalah metode *F.J. Mock*. Prinsip metode ini menyatakan bahwa hujan yang jatuh pada *cathment area* sebagian akan hilang akibat evaporasi, sebagian akan menjadi *direct run off* dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah atau terjadi infiltrasi. Infiltrasi ini mula-mula akan menjenuhkan permukaan tanah dan kemudian menjadi perkolasi ke air tanah yang nantinya akan keluar sebagai *base flow*. Dalam hal ini ada *balance* antara air hujan yang jatuh dengan evapotranspirasi, *direct ruun off* dan infiltrasi, dimana infiltrasi ini kemudian berupa *soil moisture* dan *ground water discharge*. Aliran dalam sungai adalah jumlah aliran yang langsung di permukaan tanah dan *base flow*. Kriteria dan asumsi yang digunakan dalam metode F.J. Mock adalah sebagai berikut :

Evaporasi terbatas adalah evaporasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah serta frekuensi curah hujan.

$$E_p = E_p \times \frac{d}{30} \times m \dots\dots\dots (2.70)$$

dimana:

$E$  = perbedaan antara evapotranspirasi potensial dengan evapotranspirasi terbatas

$E_p$  = evapotranspirasi potensial (mm/hari)

$d$  = jumlah hari kering atau tanpa hujan dalam 1 bulan

$m$  = prosentase lahan yang tertutup vegetasi, ditaksir dari peta dan tata letak guna lahan (%)

Berdasarkan frekuensi curah hujan di Indonesia dan sifat infiltrasi dan evaporasi dari tanah permukaan didapat hubungan

$$d = 1,5(18 - n) \text{ atau } d = 27 - 1,5n \text{ dengan}$$

$n$  = jumlah hari hujan dalam sebulan

sehingga dari kedua persamaan diperoleh

$$\frac{E}{E_p} = \frac{m}{20}(18-n) \dots\dots\dots (2.71)$$

$$E_t = E_p - E$$

$E_t$  = evaporasi terbatas (mm/hari)

- *Soil surplus* adalah volume air yang masuk ke dalam permukaan tanah.
- *Soil surplus* = (P-Et)-soil storage, dan =0 jika defisit (P-Et) > dari soil storage.
- *Initial storage* adalah besarnya volume air pada saat permulaan mulainya perhitungan. Ditaksir sesuai dengan keadaan musim hujan bisa sama dengan *soil moisture capacity* dan lebih dari pada musim kemarau.

✿ **Keseimbangan air di permukaan tanah**

Curah hujan yang mencapai permukaan

$$ds = P - E_t \dots\dots\dots (2.72)$$

Harga positif bila  $P > E_t$ , air masuk ke dalam tanah.

Harga negatif Bila  $P < E_t$ , sebagian air tanah keluar, terjadi defisit.

Perubahan kandungan air tanah, *soil storage* ( $ds$ ) = selisih antara *soil moisture capacity* bulan sekarang dengan bulan sebelumnya. *Soil moisture capacity* ini ditaksir berdsarkan kondisi porositas lapisan tanah atas *catchment area*. Biasanya ditaksir 60 s/d 250 mm, yaitu kapasitas kandungan air dalam tanah per  $m^2$ . Jika porositas tanah lapisan atas tersebut makin besar, maka *soil moisture capacity* akan makin besar pula.

✿ **Debit dan storage air tanah**

Koefisien infiltrasi (I) ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Lahan yang porous maka infiltrasi akan besar, lahan yang terjal dimana air tidak sempat terinfiltrasi ke dalam tanah maka koefisien infiltrasi akan kecil. Besarnya koefisien infiltrasi lebih kecil dari 1 (satu).

Rumus storage air tanah adalah:

$$V_n = k V_{n-1} + 1/2(1+k)I_n \dots\dots\dots (2.73)$$

$$k = \frac{q_1}{q_0} \dots\dots\dots (2.74)$$

$$kV_n = V_n - V_{n-1} \dots\dots\dots (2.75)$$

dimana:

$V_n$  = volume air tanah ( $m^3$ )

$k$  = faktor resesi aliran air tanah

$q_1$  = aliran air tanah pada waktu  $t$  (bulan ke  $t$ )

$q_2$  = aliran air tanah pada awal (bulan ke 0)

$kV_n$  = perubahan volume aliran air tanah

$V_n$  = volume air tanah bulan ke  $n$

$V_{n-1}$  = volume air tanah bulan ke  $(n-1)$

#### *Aliran Sungai*

Aliran dasar merupakan infiltrasi dikurangi perubahan volume aliran air dalam tanah, sedangkan aliran permukaan adalah water surplus dikurangi infiltrasi. Aliran sungai diartikan sebagai akumulasi dari aliran permukaan ditambah aliran dasar, dan dinyatakan dengan debit efektif dalam  $m^3/detik$ .

#### ✿ **Perhitungan Debit Andalan**

Perhitungan debit andalan didekati dengan cara metode NRECA, metode ini dianjurkan dalam menghitung debit andalan untuk curah hujan yang relative kecil dan juga sesuai untuk daerah cekungan yang setelah hujan berhenti masih ada aliran air sungai selama beberapa hari.

Kondisi ini bisa terjadi bila tangkapan hujan cukup luas hingga  $>100$  Ha ( $1km^2$ ). Analisa debit andalan dengan metode tersebut akan dilakukan untuk menganalisa curah hujan 15 harian. Dengan mempertimbangkan terhadap jumlah hari hujan, luas daerah pengaliran, koefisiennya dan evaporasi, maka debit andalan dapat diperoleh dengan pendekatan rumus yang dijabarkan dalam beberapa langkah sebagai berikut:

1. Nama bulan Januari sampai Desember
2. Nama hujan rata-rata bulanan ( $R_b$ )
3. Nilai penguapan peluh potensial (PET)
4. Nilai tampungan kelengasan awal ( $W_o$ ). Nilai ini harus dicoba, dan percobaan pertama diambil 500 (mm/bulan) di bulan Januari.
5. Tampungan kelengasan tanah (*soil moisture storage* –  $W_i$ ) dihitung dengan rumus.

$$W_i = \frac{W_0}{\text{NOMINAL}} \dots\dots\dots (2.76)$$

dengan

$$\text{NOMINAL} = 100 + 0,2R_a$$

$$R_a = \text{hujan tahunan (mm)}$$

$$6. \text{ Rasio } R_b/\text{PET} = \text{kolom (2) : kolom (3)}$$

$$7. \text{ Rasio AET/PET}$$

AET = penguapan peluh aktual yang dapat diperoleh dengan gambar, nilainya tergantung dari rasio  $R_b/\text{PET}$  kolom (6) dan  $W_i$  kolom (5).

$$8. \text{ AET} = \left( \frac{\text{AET}}{\text{PET}} \right) \times \text{PET} \times \text{koefisien reduksi}$$

$$= \text{kolom (7)} \times \text{kolom (3)} \times \text{koefisien reduksi}$$

$$9. \text{ Neraca air} = R_b - \text{AET}$$

$$= \text{kolom (2)} \times \text{kolom (8)}$$

10. Rasio kelebihan kelengasan (*exceeds moisture*) yang dapat diperoleh sebagai berikut.

Bila neraca air kolom (9) positif, maka rasio tersebut dapat diperoleh dari gambar dengan memasukkan nilai kelengasan tanah ( $W_i$ ) di kolom 5. Bila Neraca air negative, rasio = 0

$$11. \text{ Kelebihan Kelengasan} = \text{rasio kelebihan kelengasan} \times \text{neraca air} \\ = \text{kolom (10)} \times \text{kolom (9)}$$

$$12. \text{ Perubahan tampungan} = \text{neraca air} - \text{kelebihan kelengasan} \\ = \text{kolom (9)} - \text{kolom (11)}$$

$$13. \text{ Tampungan air tanah} = P_1 \times \text{kelebihan kelengasan} \\ = P_1 \times \text{kolom (11)}, \text{ dengan}$$

$P_1$  = parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan kedalaman 0-2m, nilainya 0,1 – 0,5 tergantung pada sifat lulus air lahan.

$$14. \text{ Tampungan air tanah awal yang harus dicoba dengan nilai awal 200.}$$

$$15. \text{ Tampungan air tanah akhir} = \text{tampungan air tanah} + \text{tampungan air tanah awal}$$

$$= \text{kolom (13)} + \text{kolom (14)}$$

$$16. \text{ Aliran air tanah} = P_2 \times \text{tampungan air tanah akhir}$$

= P2 × kolom (15), dengan

P2 = parameter seperti P1 tetapi untuk lapisan tanah dengan kedalaman 2-10 m, nilainya 0,5-0,9 tergantung pada sifat lulus air.

17. Larian langsung = kelebihan kelengasan – tampungan air tanah  
= kolom (11) – kolom (13)

18. Aliran total = larian langsung + aliran air tanah  
= kolom (17) + kolom (16), dalam mm/bulan

19. Aliran total dalam m<sup>3</sup>/bulan = kolom (18) dalam mm × 10 × luas tadah hujan (Ha)

Untuk bulan berikutnya dan tampungan air tanah kolom (14) bulan berikutnya yang dapat dihitung. Untuk perhitungan bulan berikutnya diperlukan nilai tampungan kelengasan kolom (4) dengan menggunakan rumus berikut.

Tampungan kelengasan = tampungan bulan sebelumnya +  
Δ perubahan  
= kolom (4) + kolom (12), bulan sebelumnya.

Tampungan air tanah = tampungan air tanah bulan sebelumnya – aliran air tanah  
= kolom (15) – kolom (16), bulan sebelumnya.

Sebagai patokan perhitungan, nilai tampungan kelengasan awal (Januari) harus mendekati tampungan kelengasan bulan Desember. Jika perbedaan antar keduanya cukup jauh (>200 mm) perhitungan perlu diulang mulai bulan Januari lagi dengan mengambil nilai tampungan awal (Januari) = tampungan kelengasan bulan Desember. Perhitungan biasanya diselesaikan dalam dua kali jalan.

#### \* Analisis Erosi Lahan

Penggunaan tanah dan pengelolaan tanah yang buruk, dapat menyebabkan percepatan erosi, dan secara langsung akan menyebabkan menurunnya produktivitas tanah. Permasalahan erosi sangat terkait dengan perencanaan sumberdaya air, dimana adanya erosi akan menyebabkan terjadinya peningkatan beban sedimen di dalam sistem sungai dan menghasilkan



---

perubahan pada kondisi hidro-morfologi (pengendapan sedimen pada waduk, danau, dan saluran-saluran yang berakibat pada naiknya permukaan dasar sungai, terutama pada sungai bagian hilir). Bilamana kejadian erosi ini berlangsung dengan cepat, maka akan memacu perubahan unsur hidrologi sungai; yaitu meningkatnya aliran permukaan dan menurunnya aliran dasar (*base flow*). Oleh karenanya, daerah-daerah kritis dengan tingkat erosi yang tinggi perlu diidentifikasi, dan perlu dipikirkan program-program konservasi (pengawetan) tanah, dengan harapan dapat dicapai suatu laju erosi pada tingkat yang minimum. Departemen Kehutanan dan Perkebunan adalah merupakan institusi yang bertanggung jawab terhadap program Penghijauan dan Penghutanan kembali dimana program tersebut dapat diprioritaskan pada lahan-lahan kritis, terutama yang berada di bagian hulu Daerah Pengaliran Sungai.

Meskipun program konservasi tidak berada di bawah tanggung jawab Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah — yang bertanggung jawab terhadap kegiatan perencanaan sumberdaya air, tetapi merupakan suatu hal yang penting untuk diidentifikasi bahwasanya usaha konservasi tanah merupakan hal yang dapat memberikan keuntungan dari sudut pengelolaan sumberdaya air.

Dari sekian banyak rumusan yang dapat dipergunakan untuk memprediksi besarnya erosi, model yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978) — yang dikenal dengan *the Universal Soil Loss Equation (USLE)* — dianggap merupakan metode yang paling populer dan banyak digunakan untuk memprediksi besarnya erosi. USLE adalah suatu model erosi yang dirancang untuk memprediksi rata-rata erosi jangka panjang dari erosi lembar (*sheet erosion*) termasuk di dalamnya erosi alur (*rill erosion*) pada suatu keadaan tertentu. Perlu dijelaskan di sini bahwa rumus USLE dikembangkan untuk suatu bidang tanah dengan ukuran/luas kecil, sehingga bila ingin diterapkan pada suatu DPS dengan ukuran/luas besar, maka DPS tersebut perlu dibagi menjadi sejumlah luasan-luasan kecil, yang disebut sebagai unit lahan. Erosi yang terjadi selanjutnya dihitung pada masing-masing unit lahan, dan besarnya

erosi total pada DPS dapat diperoleh dengan cara menjumlahkan erosi yang terjadi pada seluruh unit lahan.

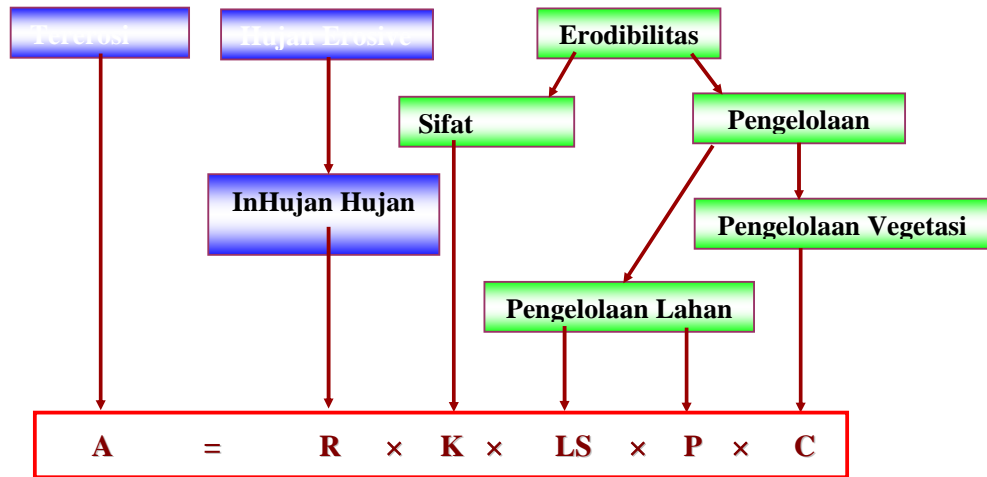
Dengan menggunakan persamaan USLE dapat diprediksi laju rata-rata erosi dari suatu bidang tanah tertentu, pada suatu kecuraman lereng dan dengan pola hujan tertentu, untuk setiap macam pertanaman dan tindakan pengelolaan (tindakan konservasi tanah) yang sedang atau yang mungkin dapat dilakukan. Persamaan yang dipergunakan mengelompokkan berbagai parameter fisik (dan pengelolaan) yang mempengaruhi laju erosi ke dalam enam parameter utama. Persamaan USLE yang diusulkan adalah sebagai berikut:

dimana:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

- A = adalah banyaknya tanah yang tererosi dalam [ton per hektar per tahun].
- R = adalah faktor curah hujan dan aliran permukaan (**erosivitas hujan**), yaitu jumlah satuan indeks erosi hujan, yang merupakan perkalian antara energi hujan total (E) dengan intensitas hujan maksimum 30 menit ( $I_{30}$ ) tahunan.
- K = adalah faktor **erodibilitas tanah**, yaitu laju erosi per indeks erosi hujan (R) untuk suatu tanah yang didapat dari petak percobaan standar, yaitu petak percobaan yang panjangnya 72,6 ft (22,1 m) dan terletak pada lereng 9 % tanpa tanaman.
- L = adalah faktor **panjang lereng**, yaitu perbandingan antara besarnya erosi dari tanah dengan suatu panjang lereng tertentu terhadap erosi dari tanah dengan panjang lereng 72,6 ft (22,1 m) di bawah keadaan yang identik.
- S = adalah faktor **kecuraman lereng**, yaitu perbandingan antara besarnya erosi yang terjadi dari suatu bidang tanah dengan kecuraman lereng tertentu, terhadap besarnya erosi dari tanah dengan lereng 9 % di bawah keadaan yang identik.
- C = adalah faktor **vegetasi penutup tanah dan pengelolaan tanaman**, yaitu perbandingan antara besarnya erosi dari suatu bidang tanah dengan vegetasi penutup dan pengelolaan tanaman tertentu terhadap besarnya erosi dari tanah yang identik tanpa tanaman.
- P = adalah faktor **tindakan-tindakan khusus konservasi tanah**, yaitu perbandingan antara besarnya erosi dari tanah yang diberi perlakuan tindakan konservasi khusus (seperti pengolahan tanah menurut kontur, penanaman dalam *stripping* atau terras), terhadap besarnya erosi dari tanah yang diolah searah lereng dalam keadaan yang identik.

Secara skematik persamaan USLE dapat dijelaskan pada Gambar 2.7. di bawah.



Gambar 2.7. Skematik persamaan penduga erosi USLE

Seringkali parameter C dan P dinyatakan sebagai parameter CP, yang menggambarkan parameter penggunaan tanah dengan pengelolannya. Dengan memasukkan parameter-parameter R, K, LS, dan CP dalam rumus USLE, dapat diprediksi besarnya erosi tanah yang terjadi; parameter-parameter tersebut dapat diperoleh dari literatur (Kirby, 1984).

▪ **Erosivitas Hujan, R**

Erosivitas hujan, R, adalah merupakan faktor fisik hujan yang menyebabkan terjadinya proses erosi baik erosi permukaan, erosi alur atau erosi tebing. Erosivitas hujan bulanan dihitung dengan persamaan :

$$R_m = 2,21 P_m^{1,36} \dots\dots\dots (2.77)$$

dimana  $R_m$  = erosivitas hujan bulanan, dan  $P_m$  = hujan bulanan [cm]. Erosivitas hujan dihitung per Daerah Pelayanan (DP), mengacu pada perhitungan hujan rata-rata bulanan per DP sebagaimana diberikan pada bab sebelumnya (perhitungan ketersediaan air).

▪ **Faktor Erodibilitas Tanah, K**

Faktor erodibilitas tanah ditentukan oleh tekstur, struktur, permeabilitas dan bahan organik tanah, dan dapat diperoleh dari Tabel 2.14.

Tabel 2.14. Jenis Tanah dan Nilai Faktor Erodibilitas Tanah (K)

No.	Jenis Tanah	Faktor K (erodibilitas)
1.	<i>Latosol</i> coklat kemerahan dan <i>litosol</i>	0,43
2.	<i>Latosol</i> kuning kemerahan dan <i>litosol</i>	0,36
3.	Komplek mediteran dan <i>litosol</i>	0,46
4.	<i>Latosol</i> kuning kemerahan	0,56
5.	Grumusol	0,20
6.	Aluvial	0,47
7.	<i>Regusol</i>	0,40

Sumber data : RTL – RLKT Departemen Kehutanan, 1997

▪ **Faktor Kelerengan, LS**

Faktor *L* dan *S*, masing-masing adalah faktor panjang dan kemiringan lereng tanah. Nilai *LS* biasanya merupakan satu kesatuan dari faktor bentuk lahan dalam memperkirakan laju erosi yang akan terjadi. Nilai *LS* dapat mengacu pada nilai *LS* yang dikeluarkan oleh Departemen Kehutanan (Tabel 2.15).

Tabel 2.15. Nilai Faktor Kelas Lereng, *LS*

Kelas lereng	Kemiringan lereng	Penilaian
I	0 - 8	0,4
II	8 - 15	1,4
III	15 - 25	3,1
IV	25 - 40	6,8
V	> 40	9,5

Sumber data : RTL – RLKT Departemen Kehutanan, 1997

▪ **Faktor Penggunaan Lahan, C, dan Pengelolaan Lahan, P**

Indeks faktor penggunaan lahan dan teknik pengelolaan lahan sering dinyatakan sebagai satu kesatuan parameter, yaitu faktor CP. Secara umum faktor C dan P dipengaruhi oleh jenis tanaman (tataguna lahan) dan tindakan

pengelolaan lahan (teknik konservasi) yang dilakukan, seperti misalnya penanaman mengikuti kontour, *strip cropping*, dan pembuatan teras. Pada kondisi tidak ada usaha pengendalian erosi, nilai P sama dengan 1 (satu), dan kurang dari satu untuk lahan dengan penanganan secara mekanis.

Penggunaan lahan dapat ditentukan dari Peta Rupabumi Indonesia (skala 1:25.000) yang dibuat oleh Bakosurtanal, dimana penampakan peta dikategorikan sebagai : permukiman, sawah, perkebunan, kebun campuran, belukar, hutan, tegalan/ladang, dan tanah Kosong. Nilai CP untuk masing-masing penampakan diberikan berikut ini. Nilai faktor C dan P dapat mengacu nilai-nilai C dan P yang ada di literatur (Kironoto dan Yulistiyanto, 2001).

▪ **Perhitungan Erosi Lahan**

Dari peta-peta *tersebut* di atas, selanjutnya dilakukan *overlay* peta untuk mendapatkan peta unit lahan. Selanjutnya berdasarkan peta unit lahan tersebut dilakukan perhitungan (potensi) erosi lahan, A, dengan rumus USLE. Besarnya erosi yang terjadi dapat memberikan gambaran tingkat erosi (kekritisian) yang terjadi pada suatu DPS, apakah dalam tingkatan yang membahayakan atau belum. Klasifikasi tingkat bahaya erosi diperlihatkan pada *Tabel 2.16*.

*Tabel 2.16. Klasifikasi Kelas Bahaya Erosi*

Kelas Bahaya Erosi	Tanah hilang, A, dalam [ton/ha/tahun]	Keterangan
I	< 15	Sangat ringan
II	15 – 60	Ringan
III	60 – 180	Sedang
IV	180 – 480	Berat
V	> 480	Sangat Berat

*Sumber data : RTL - RLKT Departemen Kehutanan, 1997*

---

## 2.4. Embung

### 2.4.1. Tipe Embung

Tipe embung dapat dikelompokkan menjadi 4 keadaan yaitu :

#### 1. *Tipe Embung Berdasar Tujuan Pembangunannya*

Ada 2 tipe yaitu embung dengan tujuan tunggal dan embung serba guna.

1. Embung dengan tujuan tunggal (*single purpose dams*) adalah embung yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja, misalnya untuk : pembangkit tenaga listrik, irigasi (pengairan), pengendalian banjir, atau perikanan darat atau tujuan lainnya tetapi hanya untuk satu tujuan saja.

2. Embung serba guna (*multipurpose dams*) adalah embung yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan misalnya : pembangkit tenaga listrik (PLTA) dan irigasi (pengairan), pengendalian banjir dan PLTA, air minum dan air industri, PLTA, pariwisata dan irigasi dan lain-lain.

#### 2. *Tipe Embung Berdasar Penggunaannya*

1. Embung penampung air (*storage dams*) adalah embung yang digunakan untuk menyimpan air pada masa surplus dan dipergunakan pada masa kekurangan. Termasuk dalam embung penampung air adalah untuk tujuan rekreasi, perikanan, pengendalian banjir dan lain-lain.

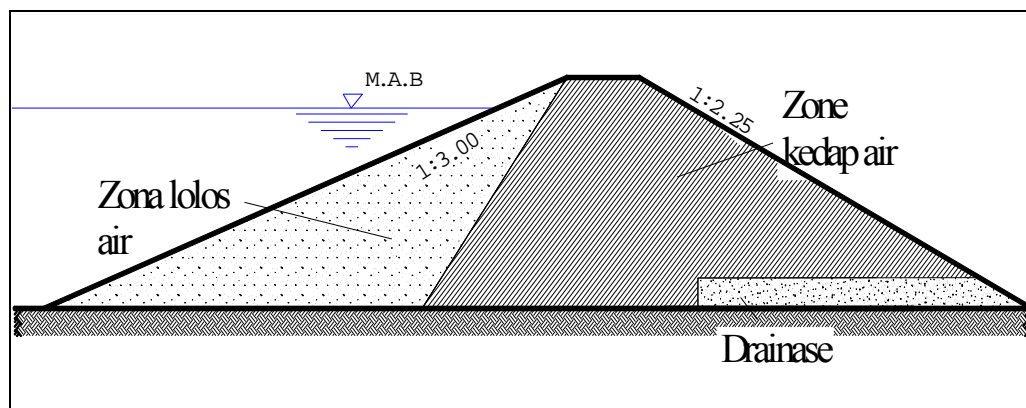
2. Embung pembelok (*diversion dams*) adalah embung yang digunakan untuk meninggikan muka air, biasanya untuk keperluan mengalirkan air kedalam sistem aliran menuju ke tempat yang memerlukan.

3. Embung penahan (*detention dams*) adalah embung yang digunakan untuk memperlambat dan mengusahakan seminimal mungkin efek aliran banjir yang mendadak. Air ditampung secara berkala atau sementara, dialirkan melalui pelepasan (*outlet*). Air ditahan selama mungkin dan dibiarkan meresap ke daerah sekitarnya.

#### 3. *Tipe Embung Berdasar Jalannya Air*

Ada 2 tipe yaitu embung untuk dilewati air dan embung untuk menahan air.

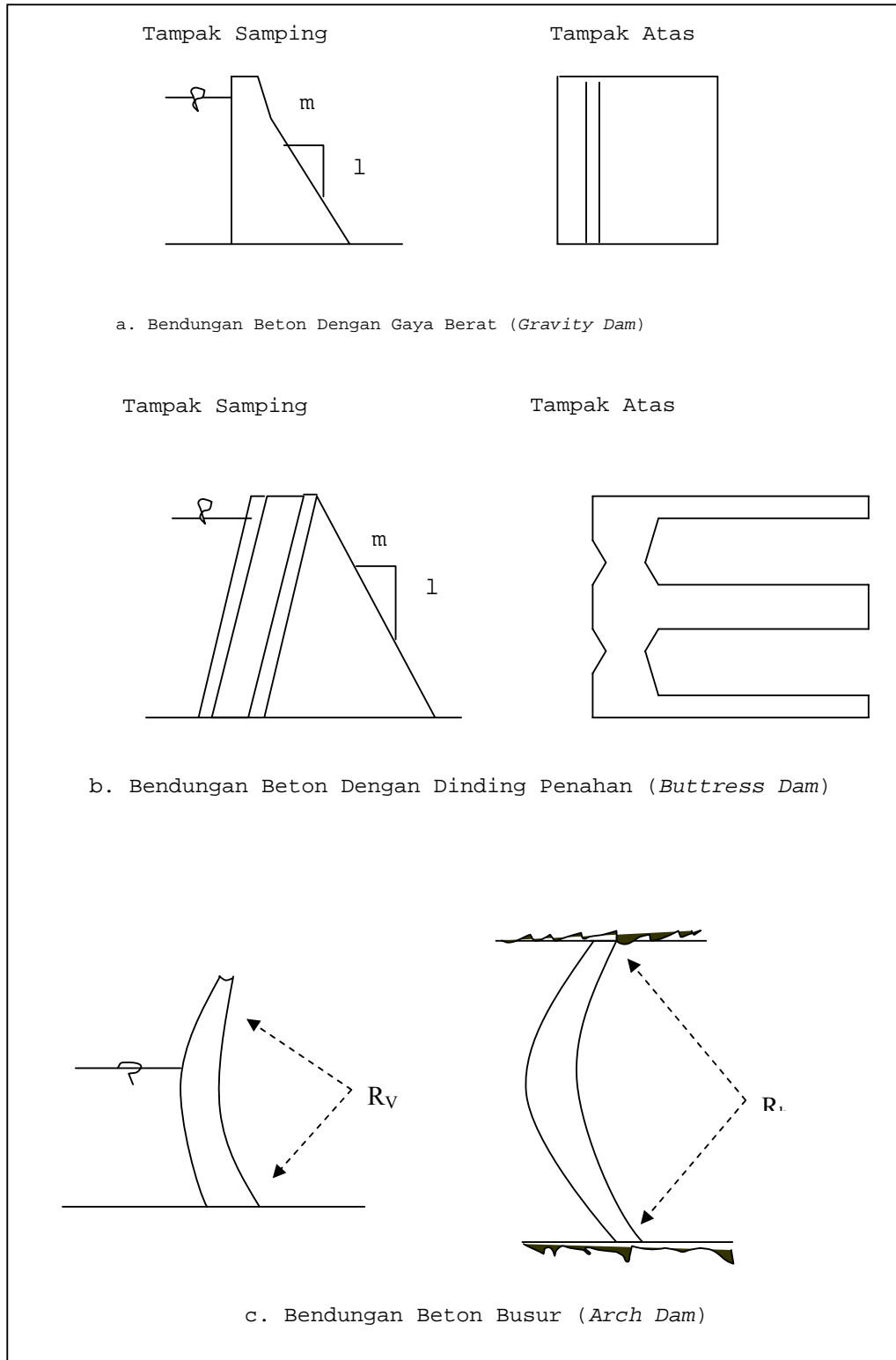
1. Embung untuk dilewati air (*overflow dams*) adalah embung yang dibangun untuk dilimpasi air misalnya pada bangunan pelimpah (*spillway*).
  2. Embung untuk menahan air (*non overflow dams*) adalah embung yang sama sekali tidak boleh dilimpasi air. Kedua tipe ini biasanya dibangun berbatasan dan dibuat dari beton, pasangan batu, atau pasangan bata.
4. *Tipe Embung Berdasarkan Material Pembentuknya.*
- Ada 2 tipe yaitu embung urugan dan embung beton.
- (1) Bendungan urugan (*fill dams, embankment dams*) adalah embung yang dibangun dari hasil penggalian bahan (material) tanpa tambahan bahan lain yang bersifat campuran secara kimia, jadi betul-betul bahan pembentuk embung asli. Embung ini masih dapat dibagi menjadi dua yaitu embung urugan serba sama (*homogeneous dams*) adalah embung apabila bahan yang membentuk tubuh embung tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasinya (susunan ukuran butirannya) hampir seragam. Yang kedua adalah embung zonal adalah embung apabila timbunan yang membentuk tubuh embung terdiri dari batuan dengan gradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan-urutan pelapisan tertentu.



Gambar 2.8. Embung Urugan Tanah

(2) Bendungan beton (*concrete dam*) adalah bendungan yang dibuat dari konstruksi beton baik dengan tulangan maupun tidak. Kemiringan permukaan hulu dan hilir tidak sama pada umumnya bagian hilir lebih landai dan bagian hulu mendekati vertikal dan bentuknya lebih ramping. Embung ini masih dibagi lagi menjadi : embung beton berdasar berat sendiri, yaitu stabilitas tergantung pada massanya, kemudian embung beton dengan penyangga (*buttress dam*) yaitu permukaan hulu menerus dan dihilirnya pada jarak tertentu ditahan, dan embung beton berbentuk lengkung serta embung beton kombinasi.





Gambar 2.9. Tipe-tipe Bendungan Beton

#### 2.4.2. Pemilihan Lokasi dan Tipe Embung

Embung merupakan salah satu bagian dari proyek secara keseluruhan maka letaknya juga dipengaruhi oleh bangunan-bangunan lain seperti bangunan pelimpah, bangunan penyadap bangunan pengeluaran, bangunan untuk pembelokan sungai dan lain-lain.

Untuk menentukan lokasi dan denah embung harus memperhatikan beberapa faktor yaitu :

1. Tempat embung merupakan cekungan yang cukup untuk menampung air, terutama pada lokasi yang keadaan geotekniknya tidak lulus air, sehingga kehilangan airnya hanya sedikit.
2. Lokasinya terletak di daerah manfaat yang memerlukan air sehingga jaringan distribusinya tidak begitu panjang dan tidak banyak kehilangan energi.
3. Lokasi embung terletak di dekat jalan, sehingga jalan masuk (*access road*) tidak begitu panjang dan lebih mudah ditempuh.

Sedangkan faktor yang menentukan didalam pemilihan tipe embung adalah :

1. Tujuan pembangunan proyek
2. Keadaan klimatologi setempat
3. Keadaan hidrologi setempat
4. Keadaan di daerah genangan
5. Keadaan geologi setempat
6. Tersedianya bahan bangunan
7. Hubungan dengan bangunan pelengkap
8. Keperluan untuk pengoperasian waduk
9. Keadaan lingkungan setempat
10. Biaya proyek

#### 2.4.3. Rencana Teknis Pondasi

Keadaan geologi pada pondasi embung sangat mempengaruhi pemilihan tipe embung, oleh karena itu penelitian dan penyelidikan geologi perlu dilaksanakan

dengan baik. Pondasi suatu embung harus memenuhi 3 (tiga) persyaratan penting yaitu :

1. Mempunyai daya dukung yang mampu menahan bahan dari tubuh embung dalam berbagai kondisi
2. Mempunyai kemampuan penghambat aliran filtrasi yang memadai, sesuai dengan fungsinya sebagai penahan air.
3. Mempunyai ketahanan terhadap gejala-gejala sufosi (*piping*) dan sembulan (*boiling*) yang disebabkan oleh aliran filtrasi yang melalui lapisan-lapisan pondasi tersebut.

Sesuai dengan jenis batuan yang membentuk lapisan pondasi, maka secara umum pondasi embung dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu :

1. Pondasi batuan (*Rock foundation*)
2. Pondasi pasir atau kerikil
3. Pondasi tanah.

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadinya keruntuhan geser.

Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah mendukung beban dan diasumsikan tanah mulai terjadi keruntuhan.

Besarnya daya dukung batas terutama ditentukan oleh :

1. Parameter kekuatan geser tanah yang terdiri dari kohesi (C) dan sudut geser dalam ( $\phi$ )
2. Berat isi tanah ( $\gamma$ )
3. Kedalaman pondasi dari permukaan tanah ( $Z_f$ )
4. Lebar dasar pondasi (B)

Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan, dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$qa = \frac{q_{ult}}{FK} \dots\dots\dots (2.78)$$

Perhitungan daya dukung batas untuk pondasi dangkal pada kondisi umum :

1. Pondasi menerus

$$q_{ult} = c * N_c + \gamma * D * N_q + \left(\frac{B}{2}\right) * \gamma * N_\gamma \dots\dots\dots (2.79)$$

2. Pondasi persegi

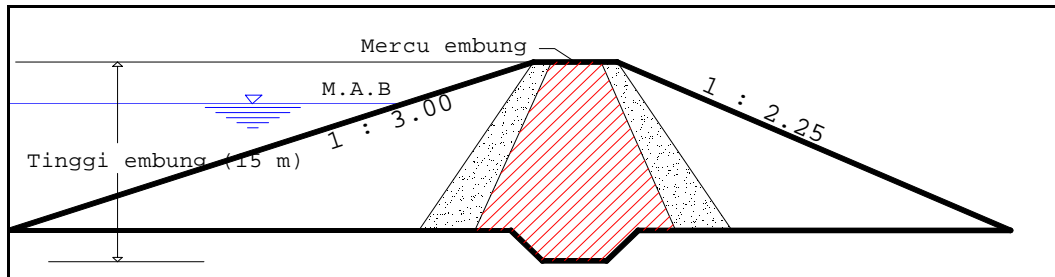
$$q_{ult} = c * N_c \left( 1 + 0.3 * \left( \frac{B}{2} \right) \right) + \gamma * D * N_q + B * 0.4 \gamma * N_\gamma \dots\dots\dots (2.80)$$

2.4.4. Perencanaan Tubuh Embung

Beberapa istilah penting mengenai tubuh embung:

1. Tinggi Embung.

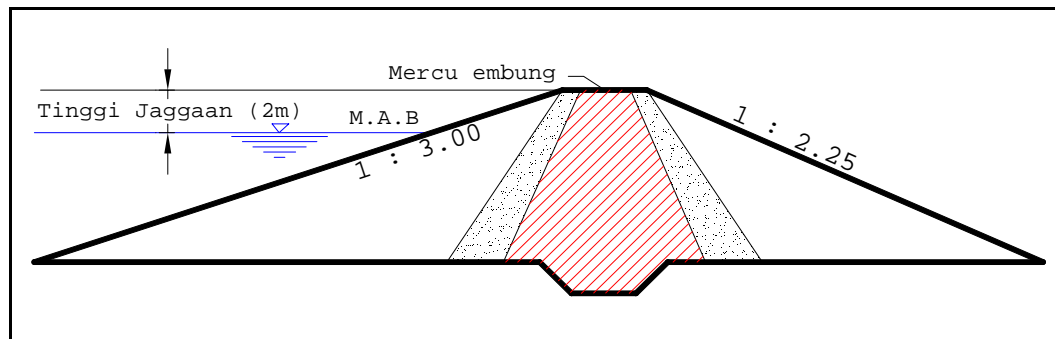
Tinggi embung adalah perbedaan antara elevasi permukaan pondasi dan elevasi mercu embung. Apabila pada embung dasar dinding kedap air atau zona kedap air, maka yang dianggap permukaan pondasi adalah garis perpotongan antara bidang vertikal yang melalui hulu mercu embung dengan permukaan pondasi alas embung tersebut. Tinggi maksimal untuk embung adalah 15 m dari dasar pondasi.



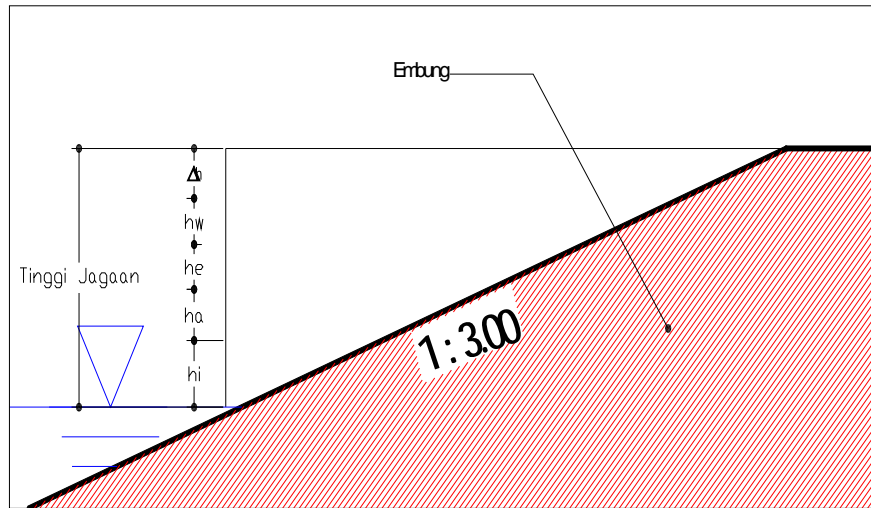
Gambar 2.10. Tinggi Embung

2. Tinggi Jagaan (free board)

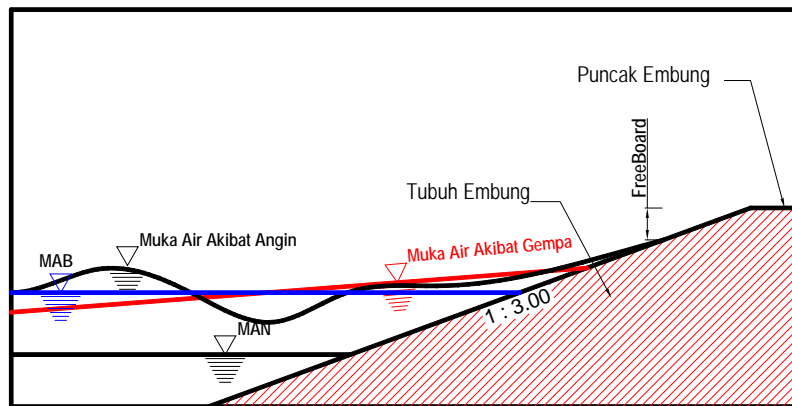
Tinggi jagaan adalah perbedaan antara elevasi permukaan maksimum rencana air dalam waduk dan elevasi mercu embung. Elevasi permukaan air maksimum rencana biasanya merupakan elevasi banjir rencana waduk.



Gambar 2.11. Tinggi Jagaan



Gambar 2.12. Tinggi Jagaan



Gambar 2.13. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan ditentukan dengan rumus sebagai berikut (Suyono Sosrodarsono, 1989) :

$$H_f \geq \Delta h + (h_w \text{ atau } \frac{h_e}{2}) + h_a + h_i \dots\dots\dots (2.81)$$

$$H_f \geq h_w + \frac{h_e}{2} + h_a + h_i \dots\dots\dots (2.82)$$

dimana :

$H_f$  = tinggi jagaan (m)

$\Delta h$  = tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk yang terjadi akibat timbulnya banjir abnormal (m)

$h_w$  = tinggi ombak akibat tiupan angin (m)

$h_e$  = tinggi ombak akibat gempa (m)

$h_a$  = tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk, apabila terjadi kemacetan-kemacetan pada pintu bangunan pelimpah (m)

$h_i$  = tinggi tambahan yang didasarkan pada tingkat urgensi dari waduk (m)

Tinggi kenaikan permukaan air yang disebabkan oleh banjir abnormal ( $\Delta h$ ). Digunakan rumus :

$$\Delta h = \frac{2}{3} \cdot \frac{\alpha Q_0}{Q} \cdot \frac{h}{1 + \frac{\Delta h}{Q_T}} \dots\dots\dots (2.83)$$

dimana :

$Q_0$  = debit banjir rencana ( $m^3/det$ )

$Q$  = kapasitas rencana ( $m^3/det$ )

$\alpha$  = 0,2 untuk bangunan pelimpah terbuka

$\alpha$  = 1,0 untuk bangunan pelimpah tertutup

$h$  = kedalaman pelimpah rencana (m)

$A$  = luas permukaan air waduk pada elevasi banjir rencana ( $km^2$ )

Tinggi ombak yang disebabkan oleh gempa ( $h_e$ )

$$h_e = \frac{e \cdot \tau}{\pi} \sqrt{g \cdot h_0} \dots\dots\dots (2.84)$$

dimana :

$e$  = Intensitas seismis horizontal

$\tau$  = Siklus seismis

$h_0$  = Kedalaman air di dalam waduk (m)

Kenaikan permukaan air waduk yang disebabkan oleh ketidaknormalan operasi pintu bangunan ( $h_a$ )

Sebagai standar biasanya diambil  $h_a = 0,5$  m

Angka tambahan tinggi jagaan yang didasarkan pada tipe embung ( $h_i$ )

Mengingat limpasan melalui mercu embung urugan sangat berbahaya maka untuk embung tipe ini angka tambahan tinggi jagaan ( $h_i$ ) ditentukan sebesar 1,0 m ( $h_i = 1,0$  m).

Apabila didasarkan pada tinggi embung yang direncanakan, maka standar tinggi jagaan embung urugan adalah sebagai berikut :

*Table 2.17. Tinggi Jagaan*

Lebih rendah dari 50 m	$H_f \geq 2$ m
Dengan tinggi antara 50-100 m	$H_f \geq 3$ m
Lebih tinggi dari 100 m	$H_f \geq 3,5$ m

### 3. Lebar Mercu Embung

Lebar mercu embung yang memadai diperlukan agar puncak embung dapat tahan terhadap hempasan ombak dan dapat tahan terhadap aliran filtrasi yang melalui puncak tubuh embung. Disamping itu, pada penentuan lebar mercu perlu diperhatikan kegunaannya sebagai jalan inspeksi dan pemeliharaan embung. Penentuan lebar mercu dirumuskan sebagai berikut (*Suyono Sosrodarsono, 1989*) :

$$b = 3,6 H^{1/3} - 3 \dots\dots\dots (2.85)$$

dimana :

b = lebar mercu (m)

H = tinggi embung (m)

### 4. Panjang Embung

Yang dimaksud dengan panjang embung adalah seluruh panjang mercu embung yang bersangkutan, termasuk bagian yang digali pada tebing-tebing sungai di kedua ujung mercu tersebut. Apabila bangunan pelimpah atau bangunan penyadap terdapat pada ujung-ujung mercu, maka lebar bangunan-bangunan pelimpah tersebut diperhitungkan pula dalam menentukan panjang embung.

### 5. Volume Embung

Seluruh jumlah volume konstruksi yang dibuat dalam rangka pembangunan tubuh embung termasuk semua bangunan pelengkapanya dianggap sebagai volume embung.

### 6. Kemiringan lereng (*slope gradient*)

Kemiringan rata-rata lereng embung (lereng hulu dan lereng hilir) dalah perbandingan antara panjang garis vertikal yang melalui tumit masing-masing lereng tersebut. Berm lawan dan drainase prisma

biasanya dimasukkan dalam perhitungan penentuan kemiringan lereng, akan tetapi alas kedap air biasanya diabaikan.

Kemiringan lereng urugan harus ditentukan sedemikian rupa agar stabil terhadap longsor. Hal ini sangat tergantung pada jenis material urugan yang dipakai. Kestabilan urugan harus diperhitungkan terhadap frekuensi naik turunnya muka air, rembesan, dan harus tahan terhadap gempa.

Tabel 2.18. Kemiringan Lereng Urugan

Material Urugan	Material Utama	Kemiringan Lereng Vertikal : Horizontal	
		Hulu	Hilir
a. Urugan homogen	CH CL SC GC GM SM	1 : 3	1 : 2,25
b. Urugan majemuk			
a. Urugan batu dengan inti lempung atau dinding diafragma	Pecahan batu	1 : 1,50	1 : 1,25
b. Kerikil-kerakal dengan inti lempung atau dinding diafragma	Kerikil-kerakal	1 : 2,50	1 : 1,75

Sumber: Perencanaan embung untuk daerah kering

### 7. Penimbunan Ekstra (Extra Banking)

Sehubungan dengan terjadinya gejala konsolidasi tubuh embung, yang prosesnya berjalan lama sesudah pembangunan embung tersebut diadakan penimbunan ekstra melebihi tinggi dan volume rencana dengan perhitungan agar sesudah proses konsolidasi berakhir maka penurunan tinggi dan penyusutan volume akan mendekati tinggi dan volume rencana embung.

#### 2.4.5. Stabilitas Embung

Merupakan perhitungan konstruksi untuk menentukan ukuran (dimensi) embung agar mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja



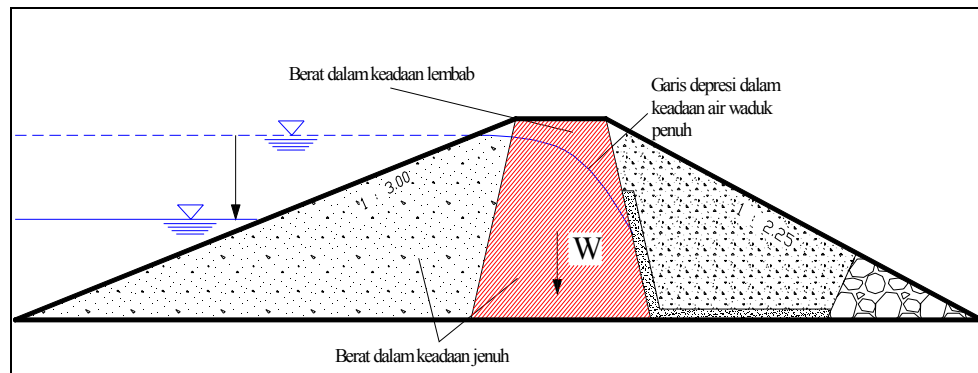
padanya dalam keadaan apapun juga. Konstruksi harus aman terhadap geseran, penurunan embung, terhadap rembesan dan keadaan embung kosong, penuh air maupun permukaan air turun tiba-tiba (*rapid drawdown*).

Gaya-gaya yang bekerja pada embung urugan :

### 1. Berat Tubuh Embung Sendiri

Berat tubuh embung dihitung dalam beberapa kondisi yang tidak menguntungkan yaitu :

- a. Pada kondisi lembab segera setelah tubuh pondasi selesai dibangun.
- b. Pada kondisi sesudah permukaan waduk mencapai elevasi penuh, dimana bagian embung yang terletak di sebelah atas garis depresi dalam keadaan jenuh.
- c. Pada kondisi dimana terjadi gejala penurunan mendadak (*rapid draw-down*) permukaan air waduk, sehingga semua bagian embung yang semula terletak di sebelah bawah garis depresi tetap dianggap jenuh.



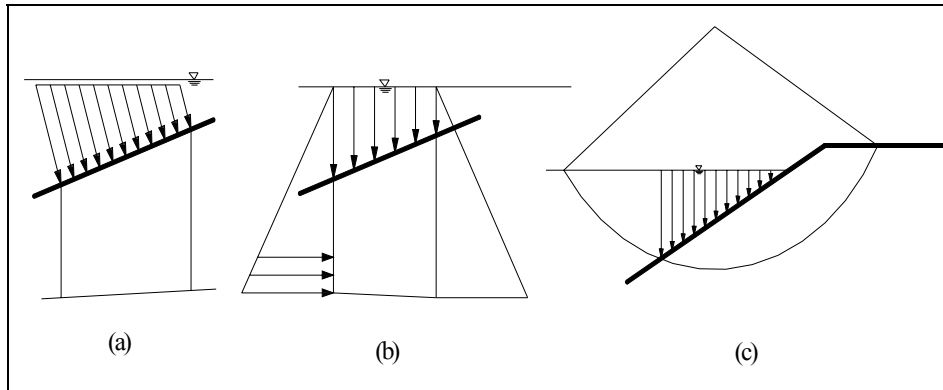
Gambar 2.14. Gaya akibat berat sendiri

### 2. Tekanan Hidrostatik

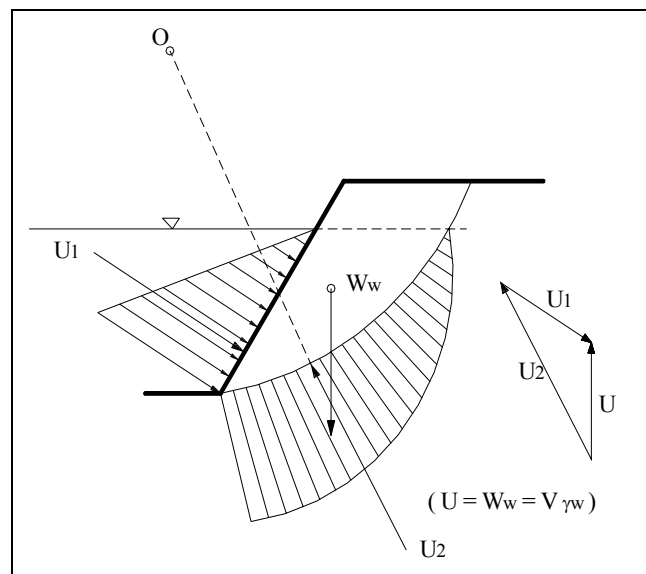
Pada perhitungan stabilitas embung dengan metode irisan (*slice methode*) biasanya beban hidrostatik yang bekerja pada lereng sebelah hulu embung dapat digambarkan dalam tiga cara pembebanan. Pemilihan cara pembebanan yang cocok untuk suatu perhitungan, harus disesuaikan dengan semua pola gaya-gaya yang bekerja pada embung, yang akan diikut sertakan dalam perhitungan.

Pada kondisi dimana garis depresi mendekati bentuk horizontal, maka dalam perhitungan langsung dapat dianggap horizontal dan berat

bagian tubuh embung yang terletak di bawah garis depresi tersebut diperhitungkan sebagai berat bahan yang terletak dalam air. Tetapi dalam kondisi perhitungan yang berhubungan dengan gempa, biasanya berat bagian ini dianggap dalam kondisi jenuh.



Gambar 2.15. Gaya tekanan hidrostatik pada bidang lengkung



Gambar 2.16. Uraian gaya hidrostatik yang bekerja pada bidang lengkung

### 3. Tekanan air pori

Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori di embung terhadap lingkaran bidang lengkung.

Tekanan air pori dihitung dengan beberapa kondisi yaitu :

- Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori dalam kondisi tubuh embung baru dibangun.

- b. Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori dalam kondisi waduk telah terisi penuh dan permukaan air sedang menurun secara berangsur-angsur.
- c. Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori dalam kondisi terjadinya penurunan mendadak permukaan waduk hingga mencapai permukaan terendah, sehingga besarnya tekanan air pori dalam tubuh embung masih dalam kondisi waduk terisi penuh.

4. *Beban Seismis (Seismic Force)*

Beban seismis akan timbul pada saat terjadinya gempa bumi, dan penetapan suatu kapasitas beban seismis secara pasti sangat sukar. Faktor-faktor yang menentukan besarnya beban seismis pada embung urugan, adalah :

- a. Karakteristik, lamanya dan kekuatan gempa yang terjadi.
- b. Karakteristik dari pondasi embung.
- c. Karakteristik bahan pembentuk tubuh embung.
- d. Tipe embung.

Komponen horisontal beban seismis dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Suyono Sosrodarsono, 1989) :

$$M \cdot \alpha = e (M \cdot g) \dots\dots\dots (2.86)$$

dimana :

- M = massa tubuh embung (ton)
- $\alpha$  = percepatan horizontal (m/det<sup>2</sup>)
- e = intensitas seismis horizontal
- g = percepatan grafitasi bumi (m/det<sup>2</sup>)

Tabel 2.19. Percepatan gempa horisontal

Intensitas Seismis	Gal	Jenis Pondasi	
		Batuan	Tanah
Luar biasa 7	400	0,20 g	0,25 g
Sangat Kuat 6	400-200	0,15 g	0,20 g
Kuat 5	200-100	0,12 g	0,15 g
Sedang 4	100	0,10 g	0,12 g

(ket : 1 gal = 1 cm/det<sup>2</sup>)

Sumber Suyono Sosrodarsono, 1989

5. *Stabilitas Lereng Embung Urugan Menggunakan Metode Irisan Bidang Luncur Bundar.*

Faktor keamanan dari kemungkinan terjadinya longsor dapat diperoleh dengan menggunakan rumus keseimbangan sebagai berikut :

$$F_s = \frac{\sum \{C.l + (N - U - N_e) \tan \phi\}}{\sum (T + T_e)} \dots\dots\dots (2.87)$$

$$= \frac{\sum C.l + \sum \{\gamma.A(\cos \alpha - e.\sin \alpha) - V\} \tan \phi}{\sum \gamma.A(\sin \alpha + e.\cos \alpha)} \dots\dots\dots (2.88)$$

dimana :

Fs = faktor keamanan

N = beban komponen vertikal yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur ( $= \gamma.A.\cos \alpha$ )

T = beban komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur ( $= \gamma.A.\sin \alpha$ )

U = tekanan air pori yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur

Ne = komponen vertikal beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur ( $= e.\gamma.A.\sin \alpha$ )

Te = komponen tangensial beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur ( $= e.\gamma.A.\cos \alpha$ )

$\phi$  = sudut gesekan dalam bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur.

C = angka kohesi bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur

Z = lebar setiap irisan bidang luncur (m)

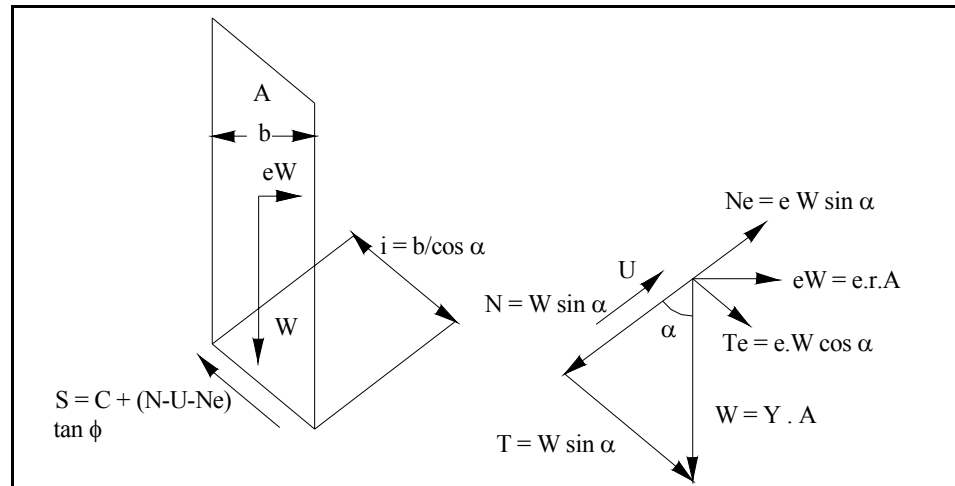
E = intensitas seismis horisontal

$\gamma$  = berat isi dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur ( $\text{ton/m}^3$ )

A = luas dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur ( $\text{m}^2$ )

$\alpha$  = sudut kemiringan rata-rata dasar setiap irisan bidang luncur

V = tekanan air pori



Gambar 2.17. Cara menentukan harga-harga  $N$  dan  $T$

Prosedur perhitungan metode irisan bidang luncur bundar :

1. Andaikan bidang luncur bundar dibagi menjadi beberapa irisan vertikal dan walaupun bukan merupakan persyaratan yang mutlak, biasanya setiap irisan lebarnya dibuat sama. Disarankan agar irisan bidang luncur tersebut dapat melintasi perbatasan dari dua buah zone penimbunan atau supaya memotong garis depresi aliran filtrasi.
2. Gaya-gaya yang bekerja pada setiap irisan adalah sebagai berikut :
3. Berat irisan ( $W$ ), dihitung berdasarkan hasil perkalian antara luas irisan ( $A$ ) dengan berat isi bahan pembentuk irisan ( $\gamma$ ), jadi  $W=A.\gamma$
4. Beban berat komponen vertikal yang bekerja pada dasar irisan ( $N$ ) dapat diperoleh dari hasil perkalian antara berat irisan ( $W$ ) dengan cosinus sudut rata-rata tumpuan ( $\alpha$ ) pada dasar irisan yang bersangkutan jadi  $N=W.\cos \alpha$
5. Beban dari tekanan hidrostatis yang bekerja pada dasar irisan ( $U$ ) dapat diperoleh dari hasil perkalian antara panjang dasar irisan ( $b$ ) dengan tekanan air rata-rata ( $U/\cos\alpha$ ) pada dasar irisan tersebut, jadi:  $U=U.b/\cos\alpha$
6. Beban berat komponen tangensial ( $T$ ) diperoleh dari hasil perkalian antara berat irisan ( $W$ ) dengan sinus sudut rata-rata tumpuan dasar irisan tersebut jadi  $T=W\sin\alpha$

7. Kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C) diperoleh dari hasil perkalian antara angka kohesi bahan (c') dengan panjang dasar irisan (b) dibagi lagi dengan cos α, jadi  $C=c'.b/\cos\alpha$
8. Kekuatan tahanan geseran terhadap gejala peluncuran irisan adalah kekuatan tahanan geser yang terjadi pada saat irisan akan meluncur meninggalkan tumpuannya
9. Kemudian jumlahkan semua kekuatan-kekuatan yang menahan (T) dan gaya-gaya yang mendorong (S) dari setiap irisan bidang luncur, dimana T dan S dari masing-masing irisan dinyatakan sebagai  $T = W \sin \alpha$  dan  $S = C + (N-U) \tan \phi$ .
10. Faktor keamanan dari bidang luncur tersebut adalah perbandingan antara jumlah gaya pendorong dan jumlah gaya penahan yang dirumuskan :

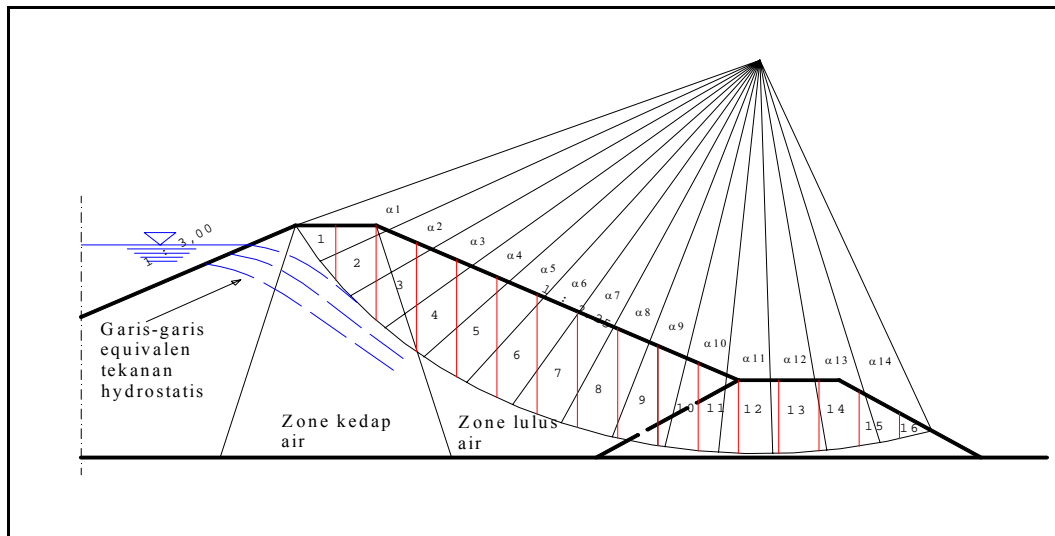
$$F_s = \frac{\sum S}{\sum T} \dots\dots\dots (2.89)$$

dimana :

$F_s$  = faktor aman

$\sum S$  = jumlah gaya pendorong (ton.m/det<sup>2</sup>)

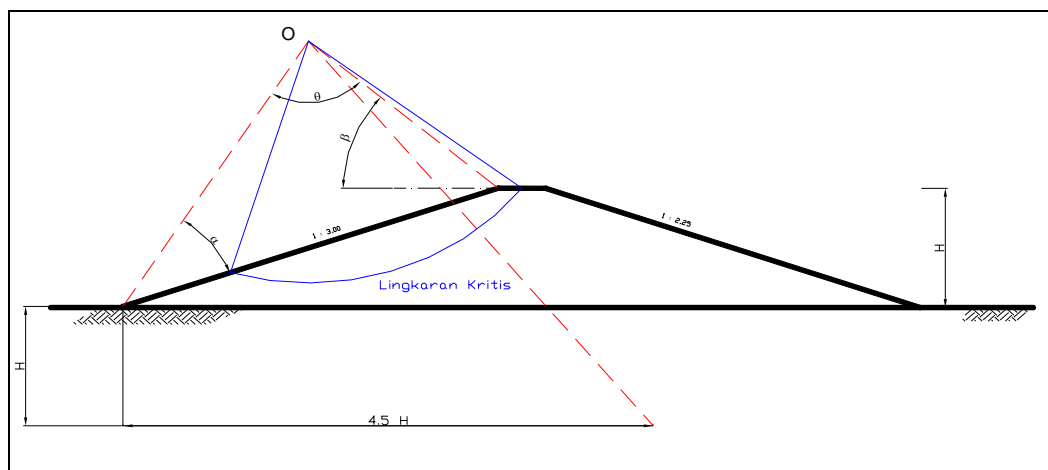
$\sum T$  = jumlah gaya penahan (ton.m/det<sup>2</sup>)



Gambar 2.18. Skema perhitungan bidang luncur dalam kondisi waduk penuh air

Cara mencari titik o:

1. Dalam menentukan titik pusat (o) untuk sliding bidang luncur pada perhitungan stabilitas lereng adalah sebagai berikut:
2. Dengan direncanakan kemiringan talud hulu dan talud hilir, maka langkah selanjutnya kita gunakan table fellenius untuk mengetahui sudut  $\alpha$  dan  $\beta$ .
3. Setelah didapat harga sudut  $\alpha$  dan  $\beta$  selanjutnya ditarik garis dan titik A dan B hingga kedua garis tersebut berpotongan.
4. Manarik garis ertikal ke kaki tanggul setinggi H dan dari garis tersebut dilanjutkan ditarik garis searah horizontal sepanjang 4.5 H, kemudian tarik garis dan titik perpotongan ke titik pada dasar embung yang sejauh 4.5 H tersebut.
5. Maka di sepanjang garis tersebut terletak garis kritis dalam menentukan titik pusat O.
6. Dengan cara coba – coba dilakukan penggambaran busur yang diawali dari dasar tumit embung hingga memotong puncak embung tersebut.
7. Dari penggambaran langkah diatas selanjutnya garis busur yang memotong lebar puncak embung dan menyinggung dasar tumit embung dan dapat ditentukan letak titik pusat O yang memenuhi syarat dan jari jari busur ( R ) dapat diukur.



Gambar 2.19. Mencari Titik Pusat dengan Metode Fellenius

Untuk mencari harga  $i$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  dapat diperoleh dari table berikut ini:

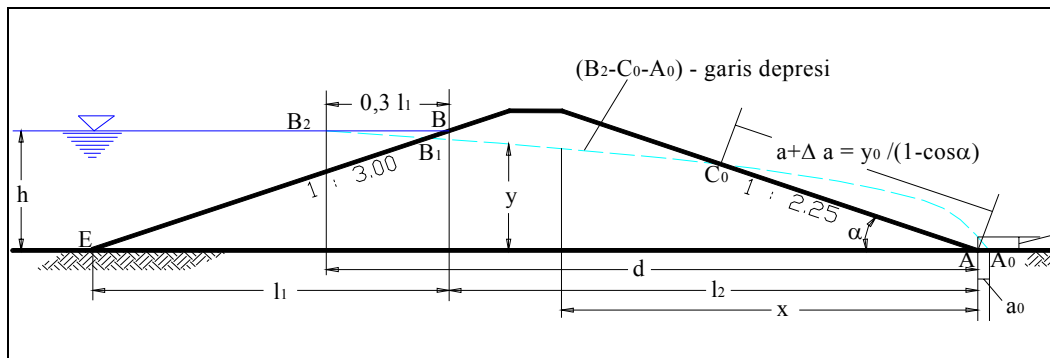
Table 2.20. Harga  $i$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  untuk menentukan pusat lingkaran

m	i	$\alpha$	$\beta$
1 : 0,58	60	29	40
1 : 1	45	28	37
1 : 1,5	30,8	26	35
1 : 2	26,6	25	35
1 : 2,5	21,8	25	35
1 : 3	18,4	25	35
1 : 5	11,3	25	37

6. Stabilitas embung terhadap aliran filtrasi

Baik embung maupun pondasinya diharuskan mampu menahan gaya-gaya yang ditimbulkan oleh adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah-celah antara butiran-butiran tanah pembentuk tubuh embung dan pondasi tersebut.

Hal tersebut dapat diketahui dengan mendapatkan formasi garis depresi ( *seepage flow-net*) yang terjadi dalam tubuh dan pondasi embung tersebut. Garis depresi didapat dengan persamaan parabola bentuk dasar seperti pada gambar 2.16 dibawah ini.



Gambar 2.20. Garis depresi pada embung homogen (sesuai dengan garis parabola)

Untuk perhitungan selanjutnya maka digunakan persamaan-persamaan di bawah ini :

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2y_0} \dots\dots\dots (2.90)$$

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \dots\dots\dots (2.91)$$



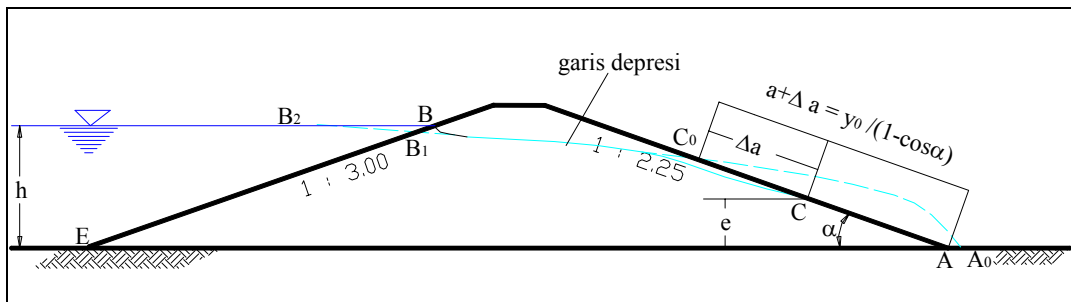
Untuk zone inti kedap air garis depresi digambarkan sebagai kurva dengan persamaan berikut :

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2} \dots\dots\dots (2.92)$$

di mana :

- h = jarak vertikal antara titik A dan B (m)
- d = jarak horisontal antara titik B<sub>2</sub> dan A (m)
- l<sub>1</sub> = jarak horisontal antara titik B dan E (m)
- l<sub>2</sub> = jarak horisontal antara titik B dan A (m)
- A = ujung tumit hilir embung
- B = titik perpotongan antara permukaan air waduk dengan lereng hulu embung.
- A<sub>1</sub> = titik perpotongan antara parabola bentuk besar garis depresi dengan garis vertikal melalui titik B
- B<sub>2</sub> = titik yang terletak sejauh 0,3 l<sub>1</sub> horisontal kearah hulu dari titik B

Akan tetapi garis parabola bentuk dasar (B<sub>2</sub>-C<sub>0</sub>-A<sub>0</sub>) yang diperoleh dari persamaan tersebut, bukanlah garis depresi sesungguhnya, masih diperlukan penyesuaian menjadi garis B-C-A yang merupakan bentuk garis depresi yang sesungguhnya seperti tertera pada gambar 2.17 sebagai berikut :



Gambar 2.21. Garis depresi pada embung homogen (sesuai dengan garis parabola yang dimodifikasi)

Panjang Δa tergantung dari kemiringan lereng hilir embung, dimana air filtrasi tersembul keluar yang dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.93)$$

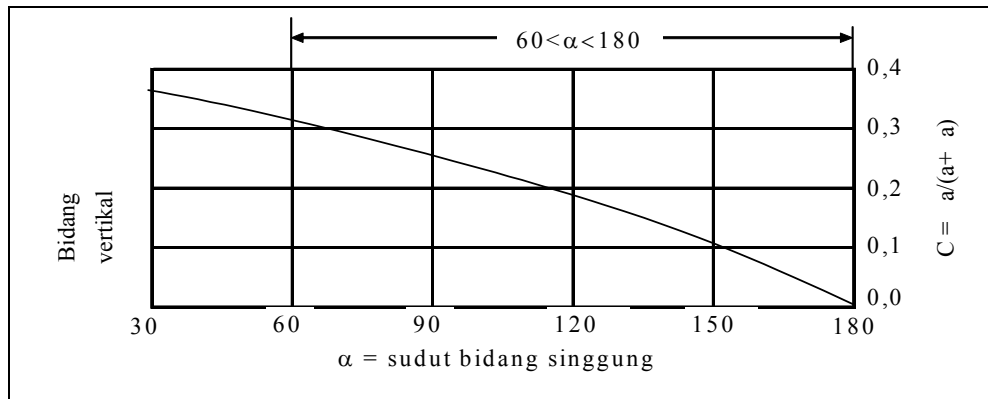
dimana :

$a$  = jarak  $\overline{AC}$  (m)

$\Delta a$  = jarak  $\overline{C_0C}$  (m)

$\alpha$  = sudut kemiringan lereng hilir embung ( $^\circ$ )

Untuk memperoleh nilai  $a$  dan  $\Delta a$  dapat dicari berdasarkan nilai  $\alpha$  dengan menggunakan grafik sebagai berikut :



Gambar 2.22. Grafik hubungan antara sudut bidang singgung ( $\alpha$ ) dengan  $\frac{\Delta a}{a + \Delta a}$

7. Kapasitas aliran filtrasi

Memperkirakan besarnya kapasitas filtrasi yang mengalir melalui tubuh dan pondasi embung yang didasarkan pada jaringan trayektori aliran filtrasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} \times K \times H \times L \dots\dots\dots (2.94)$$

dimana :

$Q_f$  = kapasitas aliran filtrasi ( $m^3/det$ )

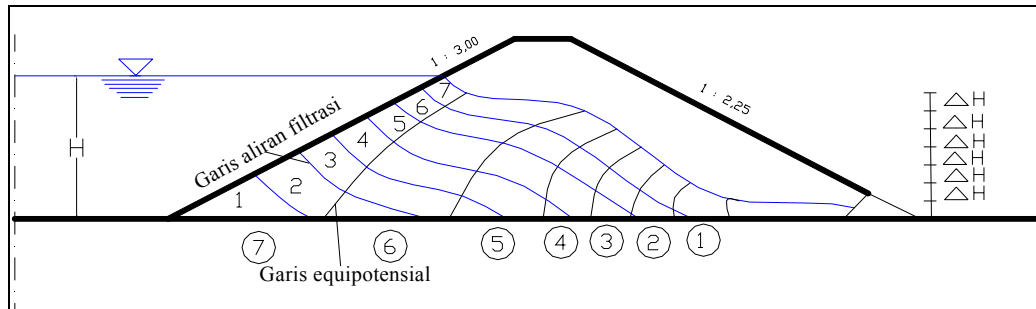
$N_f$  = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi

$N_p$  = angka pembagi dari garis equipotensial

$K$  = koefisien filtrasi

$H$  = tinggi tekanan air total (m)

$L$  = panjang profil melintang tubuh embung (m)



Gambar 2.23. Jaringan trayektori aliran filtrasi dalam tubuh embung

8. Gejala sufosi (piping) dan sembulan (boiling)

Kecepatan aliran keluar ke atas permukaan lereng hilir yang komponen vertikalnya dapat mengakibatkan terjadinya perpindahan butiran-butiran bahan embung, kecepatannya dirumuskan sebagai berikut :

$$C = \sqrt{\frac{w_1 \times g}{F \times \gamma}} \dots\dots\dots (2.94)$$

dimana :

- c = kecepatan kritis
- w<sub>1</sub> = berat butiran bahan dalam air (kg)
- g = grafitasi (m/det<sup>2</sup>)
- F = luas permukaan yang menampung aliran filtrasi (m<sup>2</sup>)
- γ = berat isi air (ton/m<sup>3</sup>)

2.4.6. Rencana Teknis Bangunan Pelimpah

Suatu pelimpah banjir merupakan katup pengaman untuk suatu embung. Maka pelimpah banjir seharusnya mempunyai kapasitas untuk mengalirkan banjir-banjir besar tanpa merusak embung atau bangunan-bangunan pelengkapanya, selain itu juga menjaga waduk agar tetap berada di bawah ketinggian maksimum yang ditetapkan. Suatu pelimpah banjir dapat terkendali maupun tidak, yang terkendali dilengkapi dengan pintu air mercu atau sarana-sarana lainnya, sehingga laju aliran keluarnya dapat diatur.

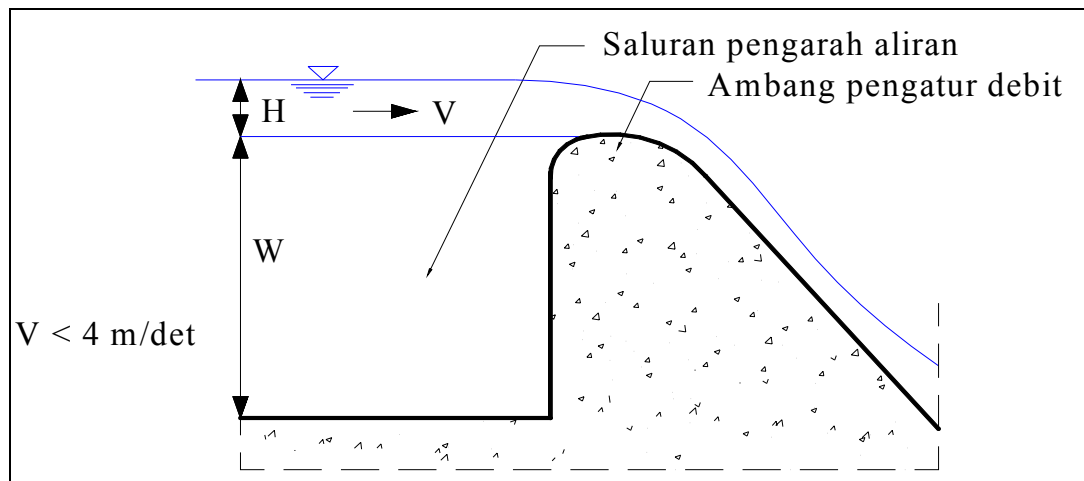
Pada hakekatnya untuk embung terdapat berbagai tipe bangunan pelimpah dan untuk menentukan tipe yang sesuai diperlukan suatu studi yang luas dan mendalam, sehingga diperoleh alternatif yang paling ekonomis. Bangunan

pelimpah yang biasa digunakan yaitu bangunan pelimpah terbuka dengan ambang tetap. Bangunan pelimpah ini biasanya terdiri dari tiga bagian utama yaitu :

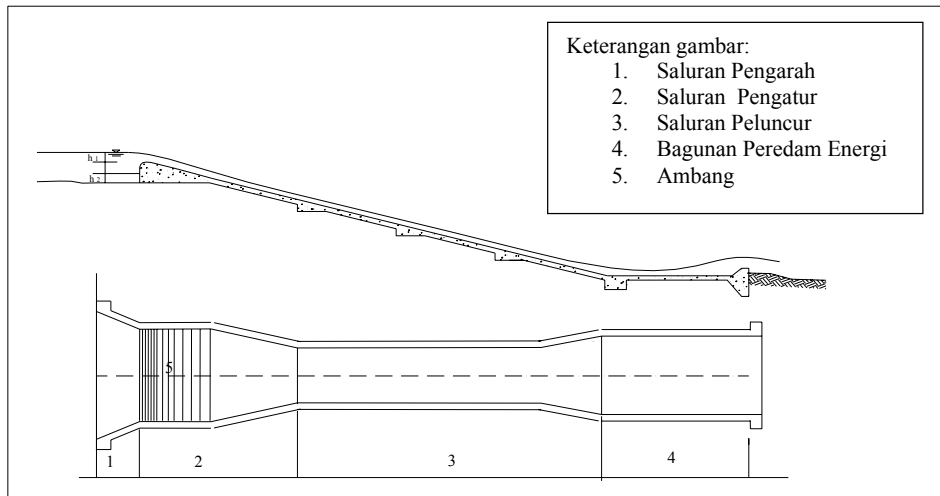
- Saluran pengarah dan pengatur aliran
- Saluran peluncur
- Peredam energi

1. *Saluran Pengarah Dan Pengatur Aliran.*

Bagian ini berfungsi sebagai penuntun dan pengarah aliran agar aliran tersebut senantiasa dalam kondisi hidrolika yang baik. Pada saluran pengarah aliran ini, kecepatan masuknya aliran air supaya tidak melebihi 4 m/det dan lebar saluran makin mengecil ke arah hilir. Kedalaman dasar saluran pengarah aliran biasanya diambil lebih besar dari  $1/5 \times$  tinggi rencana limpasan di atas mercu ambang pelimpah, periksa gambar 2.26 Saluran pengarah aliran dan ambang debit pada sebuah bangunan pelimpah. Kapasitas debit air sangat dipengaruhi oleh bentuk ambang. Terdapat 3 ambang yaitu : ambang bebas, ambang berbentuk bendung pelimpah dan ambang bentuk bendung pelimpas penggantung.



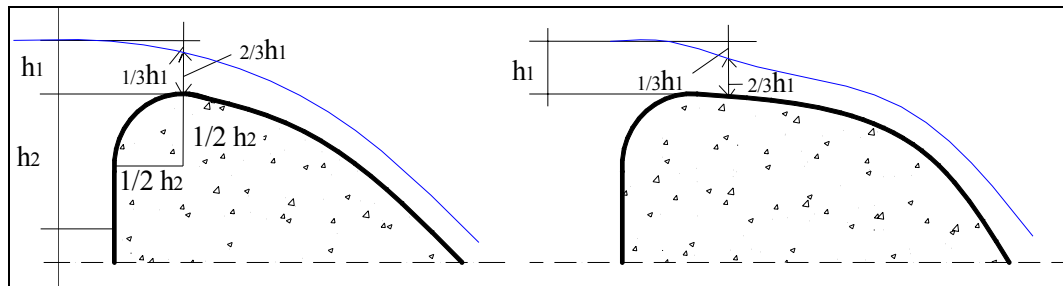
Gambar 2.24. Saluran pengarah aliran dan ambang pengatur debit pada sebuah pelimpah



Gambar 2.25. Bangunan Pelimpah

(1) Ambang bebas.

Ambang bebas digunakan untuk debit air yang kecil dengan bentuk sederhana. Bagian hulu dapat berbentuk tegak atau miring. (1 tegak : 1 horisontal atau 2 tegak : 1 horisontal), kemudian horizontal dan akhirnya berbentuk lengkung. Apabila berbentuk tegak selalu diikuti dengan lingkaran yang jari-jarinya  $\frac{1}{2} h_2$ .



Gambar 2.26. Ambang bebas

Untuk menentukan lebar ambang biasanya digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = 1,704.b.c.(h_1)^{3/2} \dots\dots\dots (2.95)$$

di mana :

Q = debit air (m<sup>3</sup>/detik)

b = panjang ambang (m)

h<sub>1</sub> = kedalaman air tertinggi disebelah hulu ambang (m)

c = angka koefisien untuk bentuk empat persegi panjang (0,82)

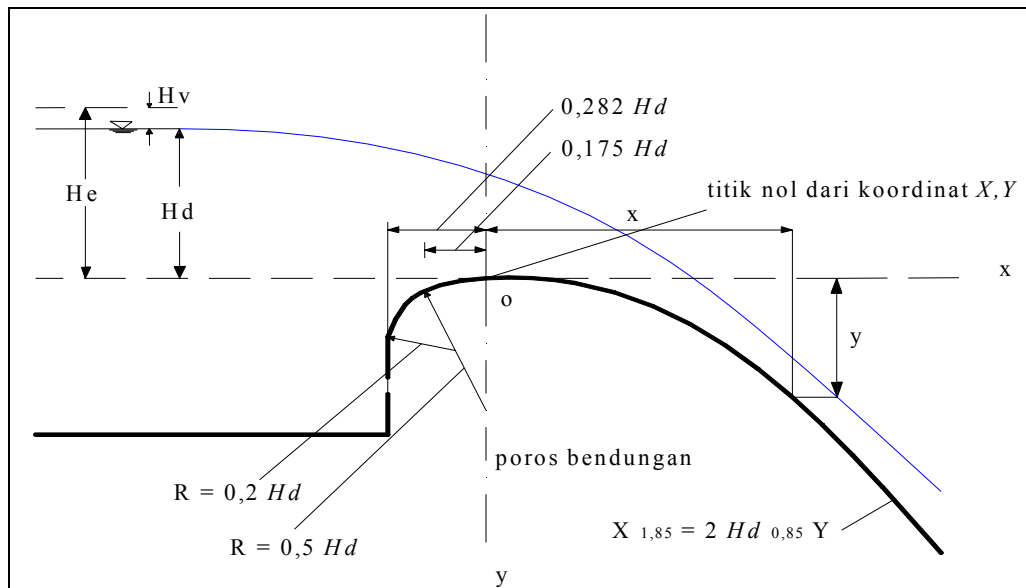
(2) Ambang berbentuk bendung pelimpah (*overflow weir*)

Digunakan untuk debit air yang besar. Permukaan bendung berbentuk lengkung disesuaikan dengan aliran air, agar tidak ada air yang lepas dari dasar bendung. Rumus untuk bendung pelimpah menurut JANCOLD (*The Javanese National Committee on Large Dams*) adalah sebagai berikut :

$$Q = c.(L-KHN).H^{1/2} \dots\dots\dots (2.97)$$

di mana :

- Q = debit air (m<sup>3</sup>/det)
- L = panjang mercu pelimpah (m)
- K = koefisien kontraksi
- H = kedalaman air tertinggi di sebelah hulu bendung (m)
- c = angka koefisien
- N = jumlah pilar



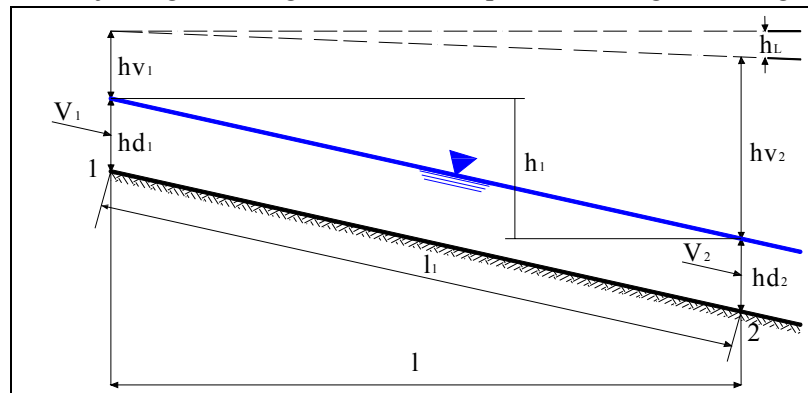
Gambar 2.27. Ambang pelimpah tipe ogee

2. Saluran Peluncur

Dalam merencanakan saluran peluncur (*flood way*) harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Agar air yang melimpah dari saluran pengatur mengalir dengan lancar tanpa hambatan-hambatan.
- Agar konstruksi saluran peluncur cukup kokoh dan stabil dalam menampung semua beban yang timbul.
- Agar biaya konstruksi diusahakan seekonomis mungkin.

Guna memenuhi persyaratan tersebut maka diusahakan agar tampak atasnya selurus mungkin. Jika bentuk yang melengkung tidak dapat dihindarkan, maka diusahakan lengkungan terbatas dan dengan radius yang besar. Biasanya aliran tidak seragam terjadi pada saluran peluncur yang tampak atasnya melengkung, terutama terjadi pada bagian saluran yang paling curam dan apabila pada bagian ini terjadi suatu kejutan gelombang hidrolis, maka peredam energi akan terganggu.



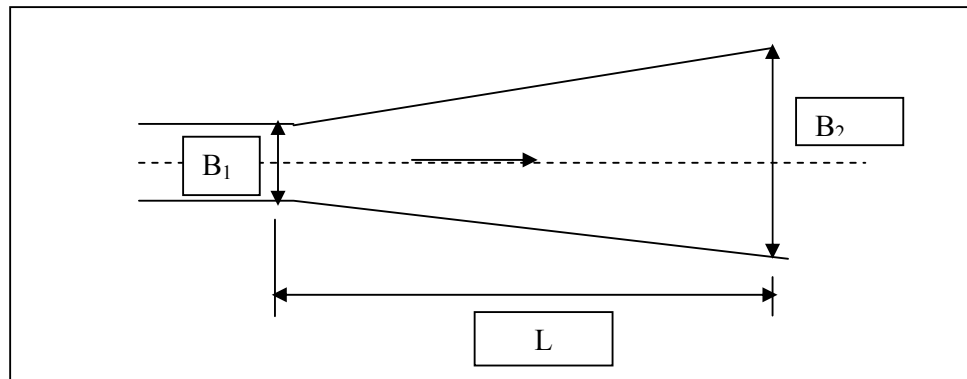
Gambar 2.28. Skema penampang memanjang saluran peluncur

### 3. Bagian yang berbentuk terompes pada ujung hilir saluran peluncur

Semakin kecil penampang lintang saluran peluncur, maka akan memberikan keuntungan ditinjau dari segi volume pekerjaan, tetapi akan menimbulkan masalah-masalah yang lebih besar pada usaha peredaman energi yang timbul per unit lebar aliran tersebut. Sebaliknya pelebaran penampang lintang saluran akan mengakibatkan besarnya volume pekerjaan untuk pembuatan saluran peluncur, tetapi peredaman energi per unit lebar alirannya akan lebih ringan.

Berdasarkan pada pertimbangan-pertimbangan tersebut di atas, maka saluran peluncur dibuat melebar (berbentuk terompes) sebelum

dihubungkan dengan peredam energi. Pelebaran tersebut diperlukan agar aliran super-kritis dengan kecepatan tinggi yang meluncur dari saluran peluncur dan memasuki bagian ini, sedikit demi sedikit dapat dikurangi akibat melebarnya aliran, sehingga aliran tersebut menjadi semakin stabil sebelum mengalir masuk ke dalam peredam energi.



Gambar 2.29. Bagian berbentuk terompet dari saluran peluncur

#### 4. Peredam energi

Sebelum aliran yang melintasi bangunan pelimpah dikembalikan lagi ke dalam sungai, maka aliran dengan kecepatan yang tinggi dalam kondisi super kritis tersebut harus diperlambat dan dirubah pada kondisi aliran sub kritis. Dengan demikian, kandungan energi dengan daya penggerus sangat kuat yang timbul dalam aliran tersebut harus direduksi hingga mencapai tingkat yang normal kembali, sehingga aliran tersebut kembali ke dalam sungai tanpa membahayakan kestabilan alur sungai yang bersangkutan.

Guna mereduksi energi yang terdapat di dalam aliran tersebut, maka di ujung hilir saluran peluncur biasanya dibuat suatu bangunan yang disebut peredam energi pencegah gerusan. Untuk menyakinkan kemampuan dan keamanan dari peredam energi, maka pada saat melaksanakan pembuatan rencana teknisnya diperlukan pengujian kemampuannya. Apabila alur sungai di sebelah hilir bangunan pelimpah kurang stabil, maka kemampuan peredam energi supaya direncanakan untuk dapat menampung debit banjir dengan probabilitas 2% (atau dengan perulangan 50 tahun). Angka tersebut akan ekonomis dan



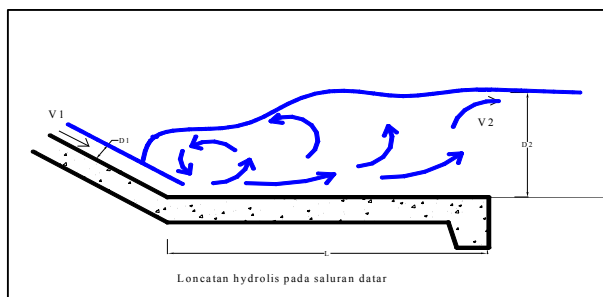
memadai tetapi dengan pertimbangan bahwa apabila terjadi debit banjir yang lebih besar, maka kerusakan-kerusakan yang mungkin timbul pada peredam energi, tidak akan membahayakan kestabilan tubuh embungnya.

Dalam perencanaan dipakai tipe kolam olakan, dan yang paling umum dipergunakan adalah kolam olakan datar. Macam tipe kolam olakan datar yaitu :

(1) Kolam olakan datar tipe I

Kolam olakan datar tipe I adalah suatu kolam olakan dengan dasar yang datar dan terjadinya peredaman energi yang terkandung dalam aliran air dengan benturan secara langsung aliran tersebut ke atas permukaan dasar kolam. Benturan langsung tersebut menghasilkan peredaman energi yang cukup tinggi, sehingga perlengkapan-perengkapan lainnya guna penyempurnaan peredaman tidak diperlukan lagi pada kolam olakan tersebut.

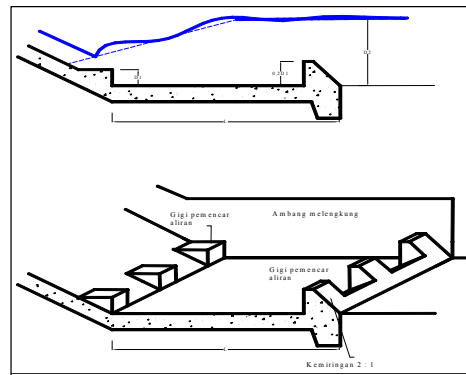
Penyempurnaan redamannya terjadi akibat gesekan-gesekan antara molekul-molekul air di dalam kolam olakan, sehingga air yang meninggalkan kolam tersebut mengalir memasuki alur sungai dengan kondisi yang sudah tenang. Akibat dari hal tersebut kolam olakan menjadi lebih panjang dan tipe I ini hanya sesuai untuk mengalirkan debit yang relatif kecil dengan kapasitas peredaman energi yang kecil pula dan kolam olakan akan berdimensi kecil. Kolam olakan tipe I ini biasanya dibangun untuk suatu kondisi yang tidak memungkinkan pembuatan perlengkapan-perengkapan lainnya pada kolam olakan tersebut.



Gambar 2.30. Bentuk kolam olakan datar tipe I USBR

## (2) Kolam olakan datar tipe II

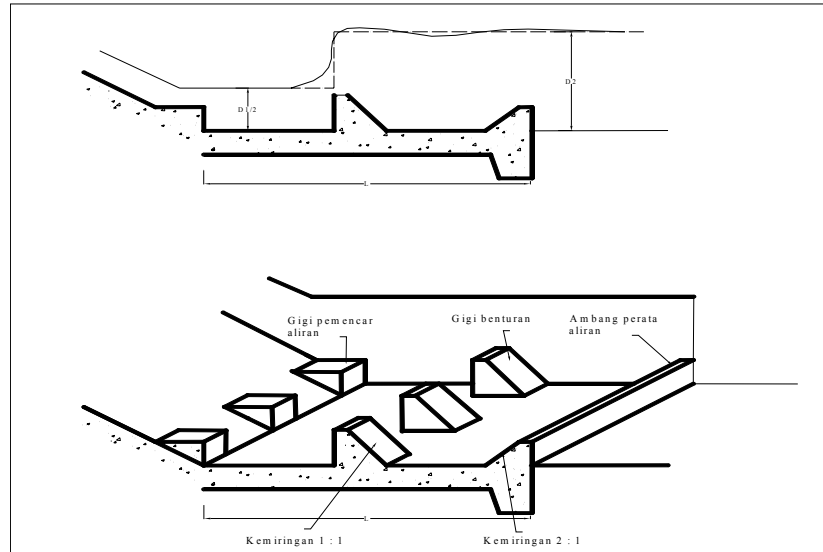
Kolam olakan datar tipe II ini cocok untuk aliran dengan tekanan hidrostatik yang tinggi dan dengan debit yang besar ( $q > 45 \text{ m}^3/\text{dt/m}$ , tekanan hidrostatik  $> 60 \text{ m}$  dan bilangan Froude  $> 4,5$ ). Kolam olakan tipe ini sangat sesuai untuk bendungan urugan dan penggunaannya cukup luas.



Gambar 2.31. Bentuk kolam olakan datar tipe II USBR

## (3) Kolam olakan datar tipe III

Pada hakekatnya prinsip kerja dari kolam olakan ini sangat mirip dengan sistem kerja dari kolam olakan datar tipe II, akan tetapi lebih sesuai untuk mengalirkan air dengan tekanan hidrostatik yang rendah dan debit yang agak kecil ( $q < 18,5 \text{ m}^3/\text{dt/m}$ ,  $V < 18,0 \text{ m}/\text{dt}$  dan bilangan Froude  $> 4,5$ ). Untuk mengurangi panjang kolam olakan, biasanya dibuatkan gigi pemencar aliran di tepi hulu dasar kolam, gigi penghadang aliran (gigi benturan) pada dasar kolam olakan. Kolam olakan tipe ini biasanya untuk bangunan pelimpah pada bendungan urugan rendah.

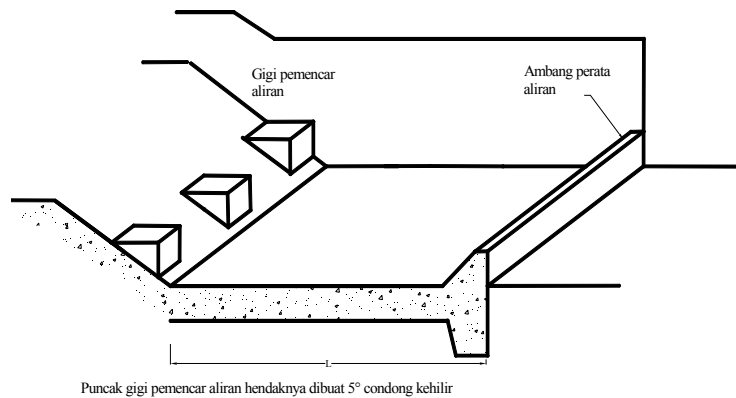


Gambar 2.32. Bentuk kolam olakan datar tipe III USBR

(4) Kolam olakan datar tipe IV

Sistem kerja kolam olakan tipe ini sama dengan sistem kerja kolam olakan tipe III, akan tetapi penggunaannya yang paling cocok adalah untuk aliran dengan tekanan hidrostatik yang rendah dan debit yang besar per-unit lebar, yaitu untuk aliran dalam kondisi super kritis dengan bilangan Froude antara 2,5 s/d 4,5.

Biasanya kolam olakan tipe ini dipergunakan pada bangunan-bangunan pelimpah suatu bendungan urugan yang sangat rendah atau bendung-bendung penyadap, bendung-bendung konsolidasi, bendung-bendung penyangga dan lain-lain.

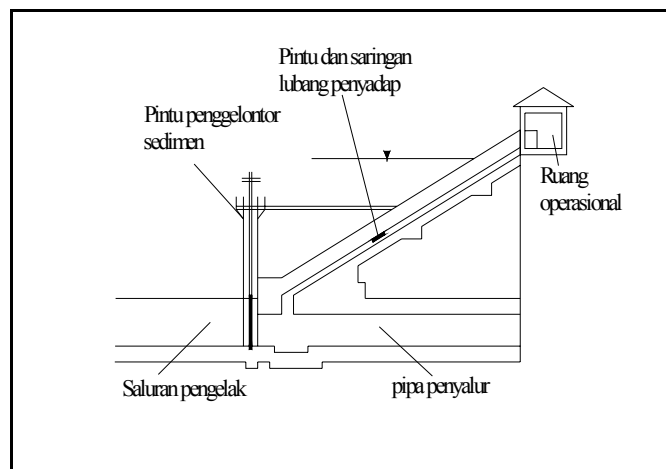


Gambar 2.33. Bentuk kolam olakan datar tipe III USBR

#### 2.4.6.1. Rencana Teknis Bangunan Penyadap

Komponen terpenting bangunan penyadap pada embung urugan adalah penyadap, pengatur dan penyalur aliran. Pada hakekatnya bangunan penyadap sangat banyak macamnya tetapi yang sering digunakan ada 2 macam yaitu bangunan penyadap tipe sandar dan bangunan penyadap tipe menara.

##### 2.4.6.1.1. Bangunan Penyadap Sandar (*inclined outlet conduit*).



Gambar 2.34. Komponen bangunan penyadap tipe sandar

Bangunan penyadap sandar adalah bangunan penyadap yang bagian pengaturnya terdiri dari terowongan miring yang berlubang-lubang dan bersandar pada tebing sungai. Karena terletak pada tebing sungai maka diperlukan pondasi batuan atau pondasi yang terdiri dari lapisan yang kukuh

untuk menghindari kemungkinan keruntuhan pada konstruksi sandaran oleh pengaruh fluktuasi dari permukaan air dan kelongsoran embung. Sudut kemiringan pondasi sandaran dibuat tidak lebih dari 60° kecuali pondasinya terdiri dari batuan yang cukup kukuh.

Berat timbunan tubuh embung biasanya mengakibatkan terjadinya penurunan-penurunan tubuh terowongan. Untuk mencegah terjadinya penurunan yang membahayakan, maka pada terowongan penyadap maupun pada pipa penyalur datar dibuatkan penyangga (*supporting pole*) yang berfungsi pula sebagai tempat sambungan bagian-bagian pipa yang bersangkutan.

Beban-beban luar yang bekerja pada terowongan penyadap adalah :

- 1) Tekanan air yang besarnya sama dengan tinggi permukaan air waduk dalam keadaan penuh.
- 2) Tekanan timbunan tanah pada terowongan.
- 3) Berat pintu dan penyaring serta fasilitas-fasilitas pengangkatnya serta kekuatan operasi dan fasilitas pengangkatnya.
- 4) Gaya-gaya hidrodinamis yang timbul akibat adanya aliran air dalam terowongan.
- 5) Kekuatan apung terowongan yang dihitung 100% terhadap volume terowongan luar.
- 6) Apabila terjadi vakum di dalam terowongan, maka gaya-gaya yang ditimbulkannya, merupakan tekanan-tekanan negatif.
- 7) Gaya-gaya seismik dan gaya-gaya dinamis lainnya.

#### 2.4.6.1.2. Lubang Penyadap

Kapasitas lubang-lubang penyadap dapat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Untuk lubang penyadap yang kecil.

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \dots\dots\dots (2.98)$$

dimana :

Q = debit penyadap sebuah lubang (m<sup>3</sup>/dt)

C = koefisien debit ± 0,62

A = luas penampang lubang (m<sup>2</sup>)

g = grafitasi (9,8 m/det<sup>2</sup>)

H = tinggi air dari titik tengah lubang ke permukaan (m)

Untuk lubang penyadap yang besar

$$Q = \frac{2}{3} B \cdot C \cdot \sqrt{2g} \left\{ (H_2 + h_a)^{3/2} (H_1 + h_a)^{2/3} \right\} \dots\dots\dots (2.99)$$

dimana :

B = lebar lubang penyadap (m)

H<sub>1</sub> = kedalaman air pada tepi atas lubang (m)

H<sub>2</sub> = kedalaman air pada tepi bawah lubang (m)

h<sub>a</sub> = tinggi tekanan kecepatan di depan lubang penyadap (m)

$$h_a = \frac{V_a^2}{2g} \text{ (m)}$$

V<sub>a</sub> = kecepatan aliran air sebelum masuk ke dalam lubang penyadap (m/dt)

Biasanya dianggap harga V<sub>a</sub> = 0, sehingga rumus di atas berubah menjadi:

$$Q = \frac{2}{3} B \cdot C \cdot \sqrt{2g} \left( H_2^{3/2} - H_1^{3/2} \right) \dots\dots\dots (2.100)$$

Apabila lubang penyadap yang miring membentu sudut θ dengan bidang horisontal, maka :

$$Q_i = Q \sec \theta \dots\dots\dots (2.101)$$

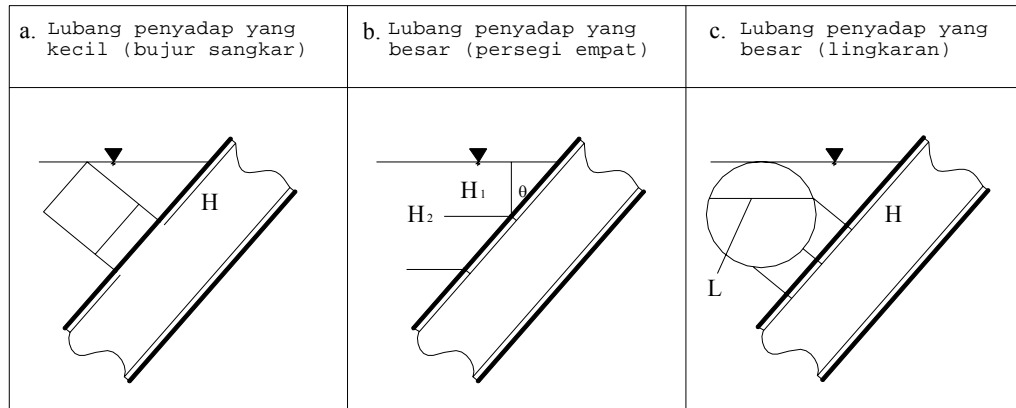
Untuk lubang penyadap dengan penampang bulat.

$$Q = C \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (2.102)$$

dimana :

r = radius lubang penyadap (m)

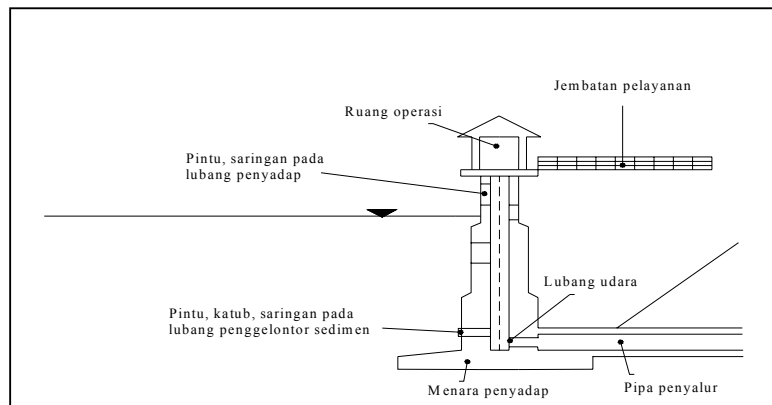
Rumus tersebut berlaku untuk H/r > 3



Gambar 2.35. Skema perhitungan untuk lubang-lubang penyadap

Ketinggian lubang penyadap ditentukan oleh perkiraan tinggi sedimen selama umur ekonomis embung

**2.4.6.1.3. Bangunan Penyadap Menara (outlet tower)**



Gambar 2.36. Komponen bangunan penyadap tipe menara

Bangunan penyadap menara adalah bangunan penyadap yang bagian pengaturnya terdiri dari suatu menara yang berongga di dalamnya dan pada dinding menara tersebut terdapat lubang-lubang penyadap yang dilengkapi pintu-pintu.

Pada hakekatnya konstruksi tersebut amat kompleks serta biayanya yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh hal-hal penting yang mengakibatkan adanya keterbatasan yaitu :

- 
- Bangunan penyardap menara merupakan bangunan yang berdiri sendiri, sehingga semua beban luar yang bekerja pada menara tersebut harus ditampung keseluruhan oleh pondasinya.
  - Bangunan penyardap menara merupakan bangunan yang berat, sehingga membutuhkan pondasi yang kukuh dengan kemampuan daya dukung yang besar.

Didasarkan pada pertimbangan-pertimbangan ekonomis dan keamanan bangunan, pembuatan bangunan penyardap menara kurang menguntungkan apalagi bila menara yang dibutuhkan cukup tinggi.

#### **2.4.6.1.4. Pintu-pintu Air dan Katub pada Bangunan Penyardap**

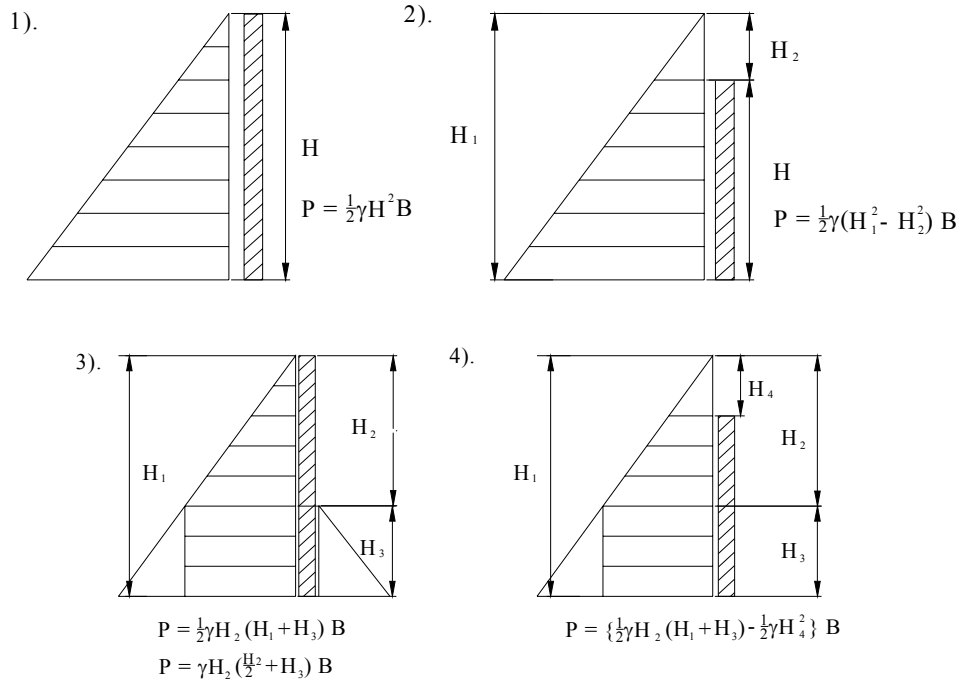
Perbedaan antara pintu-pintu air dan katub adalah, pintu air terdiri dari dua bagian yang terpisah yaitu pintu yang bergerak dan bingkai yang merupakan tempat dimana pintu dipasang. Sedangkan pada katub antara katub yang bergerak dan dinding katub (yang berfungsi sebagai bingkai) merupakan satu kesatuan.

Perhitungan konstruksi pintu air dan katub didasarkan pada beban-beban yang bekerja yaitu :

- Berat daun pintu sendiri
- Tekanan hidrostatik pada pintu
- Tekanan sedimen
- Kekuatan apung
- Kelembaman dan tekanan hidrodinamika pada saat terjadinya gempa bumi

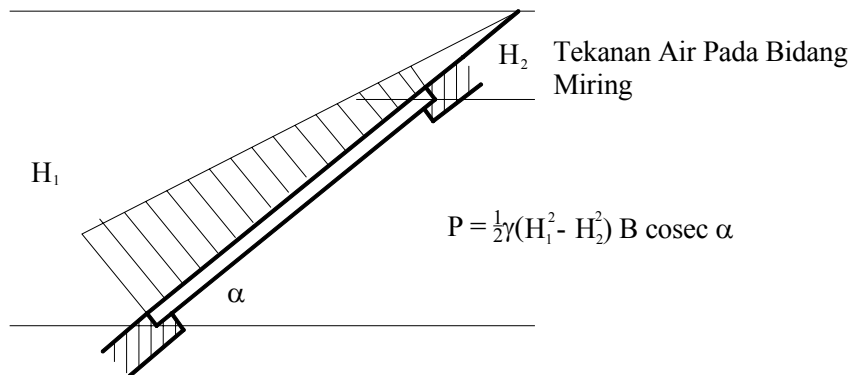
Tekanan hidrostatik yang bekerja pada pintu air, secara skematis dapat dijelaskan sebagai berikut :



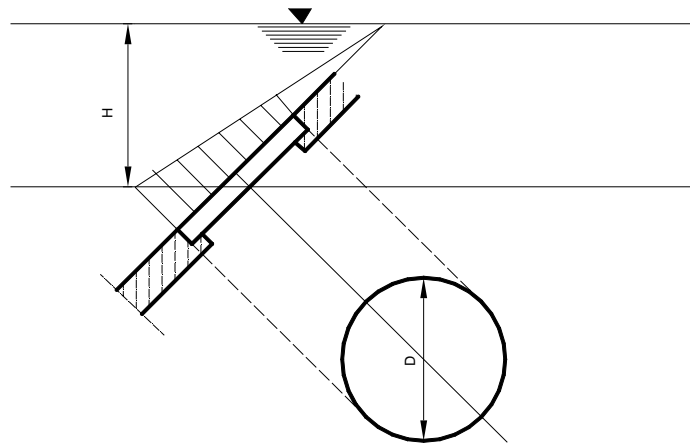


Gambar 2.37. Tekanan hidrostatik air

4). Tekanan Air Pada Bidang Miring



Gambar 2.38. Tekanan hidrostatik yang bekerja pada pintu air



Gambar 2.39. Gaya hidrostatis yang bekerja pada bidang bulat dimana :

$P$  = resultan seluruh tekanan air (t)

$\gamma$  = berat per unit volume air (1 t/m<sup>3</sup>)

$B$  = lebar daun pintu yang menampung tekanan air (m)

$H$  = tinggi daun pintu yang menampung tekanan air (m)

$H_1$  = tinggi air di udik daun pintu (m)

$H_2$  = perbedaan antara elevasi air di udik dan hilir daun pintu (m)

$H_3$  = tinggi air di hilir daun pintu (m)