

---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 URAIAN UMUM

Bendung merupakan bangunan air, di mana dalam perencanaan dan pelaksanaannya melibatkan berbagai disiplin ilmu yang mendukung, seperti ilmu hidrologi, hidrolika, irigasi, teknik sungai, pondasi, mekanika tanah, dan ilmu teknik lingkungan untuk menganalisis dampak lingkungan akibat pembangunan bendung tersebut.

Untuk menunjang proses perencanaan bendung maka berbagai teori dan rumus-rumus dari berbagai studi pustaka sangat diperlukan, terutama ketika pengolahan data maupun desain rencana bangunan air.

#### 2.2 ANALISIS HIDROLOGI

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (*hydrologic phenomena*), seperti besarnya : curah hujan, temperatur, penguapan, lamanya penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai akan selalu berubah terhadap waktu.

Data hidrologi dianalisis untuk membuat keputusan dan menarik kesimpulan mengenai fenomena hidrologi berdasarkan sebagian data hidrologi yang dikumpulkan. Untuk perencanaan bendung analisis hidrologi yang terpenting yaitu dalam menentukan debit banjir rencana dan debit andalan.

Adapun langkah-langkah dalam analisis debit tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan Daerah Aliran Sungai ( DAS ) beserta luasnya.
- b. Menentukan luas pengaruh daerah stasiun-stasiun penakar hujan.
- c. Menentukan curah hujan maksimum tiap tahunnya dari data curah hujan yang ada.

- d. Menganalisis curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun.
- e. Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana di atas pada periode ulang T tahun.
- f. Menghitung debit andalan di mana merupakan debit minimum sungai yang dipergunakan untuk keperluan irigasi.
- g. Menghitung kebutuhan air di sawah yang dibutuhkan untuk tanaman.
- h. Menghitung neraca air yang merupakan perbandingan antara debit air yang tersedia dengan debit air yang dibutuhkan untuk keperluan irigasi.

## **2.3 PERHITUNGAN DEBIT BANJIR RENCANA**

### **2.3.1 Uraian Umum Mengenai Banjir Rencana**

Pemilihan banjir rencana untuk bangunan air adalah suatu masalah yang sangat bergantung pada analisis statistik dari urutan kejadian banjir baik berupa debit air di sungai maupun hujan. Dalam pemilihan suatu teknik analisis penentuan banjir rencana tergantung dari data-data yang tersedia dan macam dari bangunan air yang akan dibangun.

### **2.3.2 Curah Hujan Daerah**

Untuk memperoleh data curah hujan, maka diperlukan alat untuk mengukurnya yaitu penakar hujan dan pencatat hujan. Dalam perencanaan bendung Slinga ini data curah hujan diperoleh dari stasiun-stasiun sekitar lokasi bendung di mana stasiun hujan tersebut masuk dalam DAS.

### **2.3.3 Daerah Aliran Sungai (DAS)**

Daerah aliran sungai ditentukan berdasarkan topografi daerah tersebut, di mana daerah aliran sungai adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggungan bukit di antara dua buah sungai sampai ke sungai yang ditinjau. Pada peta topografi dapat ditentukan cara membuat garis imajiner yang menghubungkan titik yang mempunyai elevasi kontur tertinggi di sebelah kiri dan kanan sungai yang ditinjau. Untuk menentukan luas daerah aliran sungai dapat digunakan alat planimeter.

### 2.3.4 Analisis Curah Hujan Rencana

Dalam penentuan curah hujan data dari pencatat atau penakar hanya didapatkan curah hujan di suatu titik tertentu (*point rainfall*). Untuk mendapatkan harga curah hujan areal dapat dihitung dengan beberapa metode :

#### a. Metode rata-rata Aljabar

Curah hujan didapatkan dengan mengambil rata-rata hitung (*arithmetic mean*) dari penakaran pada penakar hujan areal tersebut. Cara ini digunakan apabila :

- Daerah tersebut berada pada daerah yang datar
- Penempatan alat ukur tersebar merata
- Variasi curah hujan sedikit dari harga tengahnya

Rumus :

$$\bar{R} = \frac{1}{n} ( R_1+R_2+\dots+R_n) \dots\dots\dots (2.1)$$

(*Hidrologi untuk Pengairan. Ir.Suyono Sosrodarsono dan Kensaku Takeda. hal :27*)

di mana :

$\bar{R}$  = curah hujan maksimum rata-rata (mm)

n = jumlah stasiun pengamatan

$R_1$  = curah hujan pada stasiun pengamatan satu (mm)

$R_2$  = curah hujan pada stasiun pengamatan dua (mm)

$R_n$  = curah hujan pada stasiun pengamatan n (mm)

#### b. Metode Polygon Thiessen

Cara ini didasarkan atas cara rata-rata timbang, di mana masing-masing stasiun mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan garis-garis sumbu tegaklurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun, dengan planimeter maka dapat dihitung luas daerah tiap stasiun. Sebagai kontrol maka jumlah luas total harus sama dengan luas yang telah diketahui terlebih dahulu. Masing-masing luas lalu diambil prosentasenya dengan jumlah total = 100%. Kemudian harga ini

dikalikan dengan curah hujan daerah di stasiun yang bersangkutan dan setelah dijumlah hasilnya merupakan curah hujan yang dicari.

Hal yang perlu diperhatikan dalam metode ini adalah sebagai berikut :

- Jumlah stasiun pengamatan minimal tiga buah stasiun.
- Penambahan stasiun akan mengubah seluruh jaringan
- Topografi daerah tidak diperhitungkan.
- Stasiun hujan tidak tersebar merata

Rumus :

$$\bar{R} = \frac{A_1.R_1 + A_2.R_2 + \dots + A_n.R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.2)$$

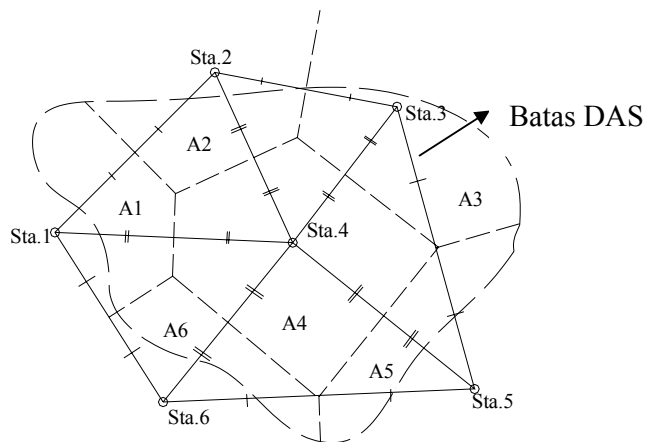
(Hidrologi untuk Pengairan, Ir.Suyono Sosrodarsono dan Kensaku Takeda, hal :27)

di mana :

$\bar{R}$  = curah hujan maksimum rata-rata (mm)

$R_1, R_2, \dots, R_n$  = curah hujan pada stasiun 1,2,.....,n (mm)

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas daerah pada *polygon* 1,2,.....,n (Km<sup>2</sup>)



**Gambar 2.1 Polygon Thiessen**

**c. Metode Isohyet**

Pada metode ini, dengan data curah hujan yang ada dibuat garis-garis yang merupakan daerah yang mempunyai curah hujan yang sama (*isohyet*), seperti terlihat Gambar 2.2

Kemudian luas bagian di antara isohyet-isohyet yang berdekatan diukur, dan harga rata-ratanya dihitung sebagai rata-rata timbang dari nilai kontur, kemudian dikalikan dengan masing-masing luasnya. Hasilnya dijumlahkan dan dibagi dengan luas total daerah maka akan didapat curah hujan areal yang dicari.

Metode ini digunakan dengan ketentuan :

- Dapat digunakan pada daerah datar maupun pegunungan
- Jumlah stasiun pengamatan harus banyak
- Bermanfaat untuk hujan yang sangat singkat

Rumus :

$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} A_1 + \frac{R_3 + R_4}{2} A_2 + \dots + \frac{R_n + R_{n-1}}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2.3)$$

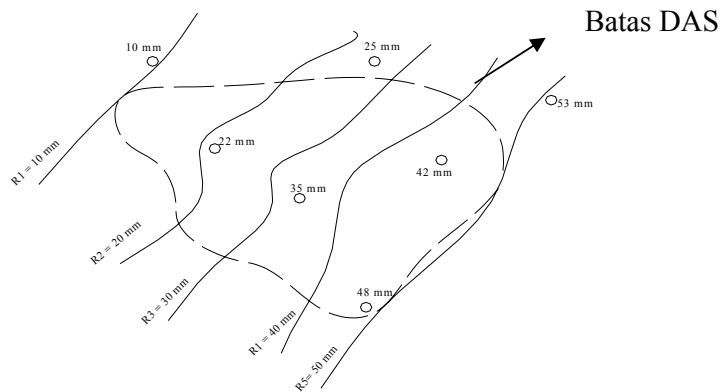
(Hidrologi Teknik, Ir.CD.Soemarto,B.I.E.Dipl.H, hal: 34)

di mana :

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

$R_1, R_2, \dots, R_n$  = curah hujan stasiun 1, 2, ..., n (mm)

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas bagian yang dibatasi oleh isohyet-isohyet (Km<sup>2</sup>)



**Gambar 2.2 Metode Isohyet**

### 2.3.5 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.

### 2.3.5.1 Pengukuran Dispersi

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

Adapun cara pengukuran dispersi antara lain :

#### a. Standar Deviasi (S)

$$\text{Rumus : } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \dots\dots\dots(2.4)$$

*(Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 20)*

di mana :

- $S$  = standar deviasi
- $X_i$  = nilai varian ke i
- $\bar{X}$  = nilai rata-rata varian
- $n$  = jumlah data

#### b. Koefesien *Skewness* (C<sub>S</sub>)

Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan dari suatu bentuk distribusi.

$$\text{Rumus : } C_S = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots(2.5)$$

*(Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data .Jilid I. Soewarno, hal : 29)*

di mana :

- $C_S$  = koefesien *skewness*
- $X_i$  = nilai varian ke i
- $\bar{X}$  = nilai rata-rata varian
- $n$  = jumlah data
- $S$  = standar deviasi

**c. Pengukuran Kurtosis**

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

Rumus :

$$C_K = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S^4} \dots\dots\dots(2.6)$$

(Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuki Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 30)

di mana :

$C_K$  = koefisien kurtosis

$X_i$  = nilai varian ke i

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

$n$  = jumlah data

$S$  = standar deviasi

**d. Koefisien Variasi ( $C_V$ )**

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

Rumus :

$$C_V = \frac{S}{\bar{X}} \dots\dots\dots(2.7)$$

(Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuki Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 29)

di mana :

$C_V$  = 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.

### 2.3.5.2 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, Gama, Beta, 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 stastistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan.

Distribusi tipe normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau  $C_S = 0$

#### 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 Pearson Tipe III, apabila nilai koefisien kemencengan  $C_S = 0$  .

Distribusi tipe Log Normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau  $C_S = 3 C_V + C_V^3$ .

Syarat lain distribusi sebaran Log Normal  $C_K = C_V^8 + 6 C_V^6 + 15 C_V^4 + 16 C_V^2 + 3$

#### 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 (*Coefficient of skewness*) atau  $C_S = 1,139$ .

**d. Distribusi Log Pearson Tipe III**

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

Distribusi Log Pearson Tipe III, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau  $C_S \neq 0$ .

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

**2.3.5.3 Uji Keselarasan Distribusi**

Uji keselarasan distribusi ini digunakan pengujian Chi-kuadrat yang dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sample data yang dianalisis.

Rumus :

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(Ef - Of)^2}{Ef} \dots\dots\dots(2.8)$$

(*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 34*)

di mana :

- $X^2$  = harga Chi-kuadrat
- $G$  = jumlah sub-kelompok
- $Of$  = frekwensi yang terbaca pada kelas yang sama
- $Ef$  = frekwensi yang diharapkan sesuai pembagian kelasnya.

Adapun prosedur pengujian Chi-kuadrat adalah sebagai berikut :

- Urutkan data pengamatan dari yang terbesar ke yang terkecil atau sebaliknya
- Hitung jumlah kelas yang ada yaitu  $Nc = 1+1,33\ln(n)$
- Dalam pembagian kelas disarankan agar dalam masing-masing kelas terdapat minimal tiga buah data pengamatan.
- Tentukan derajat kebebasan (DK) = G-P-1 (nilai P = 2 untuk distribusi normal dan binomial, untuk distribusi poisson dan Gumbel nilai P = 1)

- Hitung  $n$
- Nilai  $Ef$  = jumlah data ( $n$ )/Jumlah kelas
- Tentukan nilai  $Of$  untuk masing-masing kelas
- Jumlah G Sub-group  $\frac{(Ef - Of)^2}{Ef}$  untuk menentukan nilai Chi-kuadrat
- Didapat nilai  $X^2$ , harus  $< X^2 C_R$

Dapat disimpulkan bahwa setelah diuji dengan Chi-kuadrat pemilihan jenis sebaran memenuhi syarat distribusi, maka curah hujan rencana dapat dihitung.

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

1. Apabila peluang lebih besar dari 5% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
2. Apabila peluang lebih kecil dari 1% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
3. Apabila peluang antara 1%-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, maka perlu penambahan data.

#### 2.3.5.4 Pengukuran Curah Hujan Rencana

Tujuan pengukuran curah hujan rencana adalah untuk mendapatkan curah hujan periode ulang tertentu yang akan digunakan untuk mencari debit banjir rencana.

Untuk menghitung curah hujan rencana menggunakan parameter pemilihan distribusi curah hujan.

#### 2.3.5.5 Ploting Data Curah Hujan ke Kertas Probabilitas

Ploting data distribusi frekwensi dalam kertas probabilitas bertujuan untuk mencocokkan rangkaian data dengan jenis sebaran yang dipilih, di mana kecocokan dapat dilihat dengan persamaan garis yang membentuk garis lurus. Hasil plotting juga dapat digunakan untuk menaksir nilai tertentu dari data baru yang kita peroleh. Misal jika hasil hasil distribusi yang kita peroleh adalah distribusi Log Pearson tipe III, maka perhitungan plotting data sebagai berikut :

- Persamaan untuk mencari besarnya probabilitas Log Pearson Tipe III

$$p'(x) = \frac{1}{a \cdot \gamma(b)} \left[ \frac{X-c}{a} \right]^{b-1} e^{-\left[ \frac{X-c}{a} \right]} \dots\dots\dots(2.9)$$

(Mengenal Dasar-dasar Hidrologi, Ir. Joyce Martha W dan Ir. Wannu Adidarma, Dipl.H, hal :141)

di mana :

$p'(x)$  = peluang varian X

x = variabel acak kontinu

a = parameter skala,  $a = \frac{Cs \cdot \sigma}{2}$

b = parameter bentuk  $\Rightarrow$  untuk  $a > 0$ ,  $b = \left[ \frac{2}{Cs} \right]^2$

$\Rightarrow$  untuk  $a < 0$ ,  $b = \left[ \frac{2|a|}{a \cdot Cs} \right]^2$


c = parameter letak,  $c = \mu - a \cdot b$

$$\gamma(u) = \int_0^{\infty} e^{-x} \cdot x^{u-1} dx$$

di mana :

e = 2,71828

$\mu$  =  $\bar{X}$  = rata-rata hitung

 Persamaan Garis lurus Hasil Ploting Log Pearson Tipe III

Pengeplotan dari distribusi Log Pearson tipe III terhadap variat X dalam kertas probabilitas membentuk persamaan garis sebagai berikut:

$$Y = \bar{Y} + k \cdot Sx \dots\dots\dots(2.10)$$

(Mengenal Dasar-dasar Hidrologi, Ir. Joyce Martha W dan Ir. Wannu Adidarma, Dipl.H, hal :151)

di mana :

Y = nilai Log dari X

$\bar{Y}$  = rata-rata hitung dari Log X

$S_x$  = standar deviasi

$k$  = koefisien distribusi ( dilihat dari tabel fungsi dari  $P(x)$  dan  $C_s$  )

**2.3.6 Intensitas Curah Hujan**

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau.

**a. Menurut Dr. Mononobe**

Rumus yang dipakai :

$$I = \frac{R_{24}}{24} * \left[ \frac{24}{t} \right]^{2/3} \dots\dots\dots(2.11)$$

(Perbaikan dan Pengaturan Sungai, Dr.Ir.Suyono Sosrodarsono dan Dr.Masateru Tominaga,hal : 32)

di mana :

$I$  = intensitas curah hujan (mm/jam)

$R_{24}$  = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

$t$  = lamanya curah hujan (jam)

**b. Menurut Sherman**

Rumus yang digunakan :

$$I = \frac{a}{t^b} \dots\dots\dots(2.12)$$

(Hidrologi Teknik, Ir.CD.Soemarto,B.I.E.Dipl.H, hal : 15)

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

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

di mana :

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

**c. Menurut Talbot**

Rumus yang dipakai :

$$I = \frac{a}{(t + b)} \dots\dots\dots(2.13)$$

(Hidrologi Teknik, Ir.CD.Soemarto,B.I.E.Dipl.H, hal : 15)

di mana :

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

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

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

**d. Menurut Ishiguro**

Rumus yang digunakan :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t + b}} \dots\dots\dots(2.14)$$

(Hidrologi Teknik, Ir.CD.Soemarto,B.I.E.Dipl.H, hal : 15)

di mana :

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

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

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

### 2.3.7 Analisis Debit Banjir Rencana

Metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana sebagai dasar perencanaan konstruksi bendung adalah sebagai berikut :

#### 2.3.7.1 Metode Rasional

Perhitungan metode rasional menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3,6} \cdot \alpha \cdot r \cdot A \dots\dots\dots(2.15)$$

(Perbaikan dan Pengaturan Sungai, Dr.Ir.Suyono Sosrodarsono dan Dr.Masateru Tominaga, hal : 234)

di mana :

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

α = koefisien pengaliran

r = intensitas hujan selama t jam (mm/jam)

$$r = \frac{R_{24} 24^{2/3}}{24T} = R_{24} \left[ \frac{0,347}{T^{2/3}} \right]$$

$$T = \frac{l}{w}$$

T = waktu konsentrasi ( jam )

$$w = 20 \frac{H^{0,6}}{l} (m / det)$$

$$w = 72 \frac{H^{0,6}}{l} (Km / jam)$$

w = waktu kecepatan perambatan (m/det atau Km/jam)

l = jarak dari ujung daerah hulu sampai titik yang ditinjau (Km)

A = luas DAS (Km<sup>2</sup>)

H = beda tinggi ujung hulu dengan titik tingi yang ditinjau (m)

Koefisien pengaliran (*f*) tergantung dari beberapa faktor antara lain jenis tanah, kemiringan, luas dan bentuk pengaliran sungai. Sedangkan besarnya nilai koefisien pengaliran dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1. Koefisien Pengaliran**

Kondisi Daerah Pengaliran	Koefisien Pengaliran ( <i>f</i> )
Daerah pegunungan berlereng terjal	0,75 – 0,90
Daerah perbukitan	0,70 – 0,80
Tanah bergelombang dan bersemak-semak	0,50 – 0,75
Tanah dataran yang digarap	0,45 – 0,65
Persawahan irigasi	0,70 – 0,80
Sungai didaerah pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai kecil didataran	0,45 – 0,75
Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran lebih dari seperduanya terdiri dari dataran	0,50 – 0,75

Sumber : Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Ir.Joesron Loebis, M.Eng.

### 2.3.7.2 Metode Weduwen

Rumus dari metode Weduwen adalah sebagai berikut :

$$Qt = \alpha \cdot \beta \cdot q_n A \dots\dots\dots(2.16)$$

(Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Ir.Joesron Loebis, M.Eng. hal: IV-3)

di mana :

$$t = 0,25LQ^{-0,125} I^{-0,25}$$

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

$$q_n = \frac{R_n}{240} \frac{67,65}{t+1,45}$$

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta q_n + 7}$$

di mana :

Qt = debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/det)

Rn = curah hujan maksimum (mm/hari)

$\alpha$  = koefisien pengaliran

$\beta$  = koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

qn = debit persatuan luas (m<sup>3</sup>/det.Km<sup>2</sup>)

t = waktu konsentrasi (jam)

A = luas daerah pengaliran (Km<sup>2</sup>)

L = panjang sungai (Km)

I = gradien sungai atau medan yaitu kemiringan rata-rata sungai (10% bagian hulu dari panjang sungai tidak dihitung. Beda tinggi dan panjang diambil dari suatu titik 0,1 L dari batas hulu DAS).

Adapun syarat dalam perhitungan debit banjir dengan metode Weduwen adalah sebagai berikut :

A = luas daerah pengaliran < 100 Km<sup>2</sup>

t = 1/6 sampai 12 jam

Langkah kerja perhitungan Metode Weduwen :

- Hitung A, L dan I dari peta garis tinggi DAS, substitusikan kedalam persamaan
- Buat harga perkiraan untuk  $Q_1$  dan gunakan persamaan di atas untuk menghitung besarnya t,  $q_n$ ,  $\alpha$  dan  $\beta$ .
- Setelah besarnya t,  $q_n$ ,  $\alpha$  dan  $\beta$  didapat kemudian dilakukan iterasi perhitungan untuk  $Q_2$ .
- Ulangi perhitungan sampai dengan  $Q_n = Q_{n-1}$  atau mendekati nilai tersebut.

### 2.3.7.3 Metode Haspers

Untuk menghitung besarnya debit dengan metode Haspers digunakan persamaan sebagai berikut :

Rumus Haspers :

$$Qt = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \dots\dots\dots(2.17)$$

(Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Ir.Joesron Loebis, M.Eng. hal: IV-3)

di mana :

☐ Koefisien *Runoff* ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{1 + 0.012 f^{0.7}}{1 + 0.75 f^{0.7}}$$

☐ Koefisien Reduksi ( $\beta$ )

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3.7 \times 10^{-0.4t}}{t^2 + 15} \times \frac{F^{3/4}}{12}$$

☐ Waktu Konsentrasi ( t )

$$t = 0.1 L^{0.8} I^{-0.3}$$

☐ Intensitas Hujan

a. Untuk  $t < 2$  jam

$$Rt = \frac{tR24}{t + 1 - 0.0008 * (260 - R24)(2 - t)^2}$$

- b. Untuk  $2 \text{ jam} \leq t \leq 19 \text{ jam}$

$$Rt = \frac{tR24}{t+1}$$

- c. Untuk  $19 \text{ jam} \leq t \leq 30 \text{ jam}$

$$Rt = 0.707R24\sqrt{t+1}$$

dimana t dalam jam dan Rt,R24 (mm)

■ Hujan Maksimum ( q )

$$q_n = \frac{Rn}{3.6 * t}$$

di mana t dalam (jam),q (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/sec)

di mana :

Qt = debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/det)

Rn = curah hujan maksimum (mm/hari)

qn = debit persatuan luas (m<sup>3</sup>/det.Km<sup>2</sup>)

Adapun langkah-langkah dalam menghitung debit puncak adalah sebagai berikut :

- Menentukan besarnya curah hujan sehari ( Rh rencana) untuk pereode ulang rencana yang dipilih.
- Menentukan  $\alpha$ , untuk daerah aliran sungai
- Menghitung A, L ,I, F untuk daerah aliran sungai
- Menghitung nilai t ( waktu konsentrasi )
- Menghitung  $\beta$ , Rt, qn dan  $Qt = \alpha \beta qn A$

**2.3.7.4 Metode FSR Jawa Sumatera**

$$Q = GF \cdot MAF \dots\dots\dots(2.18)$$

(Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Ir. Joesron Loebis, M.Eng.)

$$MAF = 8.10^6 \cdot (AREA)^V \cdot APBAR^{2.445} \cdot SIMS^{0.117} \cdot (1+LAKE)^{-0.85}$$

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

$$APBAR = PBAR \cdot ARF$$

$$\text{SIMS} = H / \text{MSL}$$

$$\text{MSL} = 0,95 \cdot L$$

$$\text{LAKE} = \frac{\text{Luas DAS di hulu bendung}}{\text{Luas DAS total}}$$

di mana :

$$Q = \text{debit banjir rencana (m}^3/\text{dt)}$$

$$GF = \text{Growth factor (Tabel 2.3)}$$

$$\text{AREA} = \text{luas DAS (km}^2\text{)}$$

$$\text{PBAR} = \text{hujan 24 jam maksimum merata tahunan (mm)}$$

$$\text{ARF} = \text{faktor reduksi (Tabel 2.2)}$$

$$\text{SIMS} = \text{indeks kemiringan}$$

$$H = \text{beda tinggi antara titik pengamatan dengan ujung sungai tertinggi (m)}$$

$$\text{MSL} = \text{panjang sungai sampai titik pengamatan (km)}$$

$$L = \text{panjang sungai (km)}$$

$$\text{LAKE} = \text{indek danau}$$

$$\text{MAF} = \text{debit maksimum rata-rata tahunan (m}^3/\text{dt)}$$

**Tabel 2.2 Faktor Reduksi (ARF)**

DAS (km <sup>2</sup> )	ARF
1 - 10	0,99
10 - 30	0,97
30 - 3000	1,52 – 0,0123 log A

Sumber : *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Ir. Joesron Loebis, M.Eng.*

**Tabel 2.3 Growth Factor (GF)**

Return Period T	Luas <i>cathment</i> area (km <sup>2</sup> )					
	<180	300	600	900	1200	>1500
5	1.28	1.27	1.24	1.22	1.19	1.17
10	1.56	1.54	1.48	1.49	1.47	1.37
20	1.88	1.84	1.75	1.70	1.64	1.59
50	2.35	2.30	2.18	2.10	2.03	1.95
100	2.78	2.72	2.57	2.47	2.37	2.27

Sumber : *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Ir. Joesron Loebis, M.Eng.*

### 2.3.7.5 Metode Passing Capacity

Metode Passing Capacity yaitu menghitung debit banjir rencana dengan memperhatikan keadaan sungai juga tinggi muka air dan menggunakan data penampang sungai yang ada. Rumus yang digunakan yaitu :

$$Q = A \times V$$
$$R = \frac{A}{P}$$
$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * i^{1/2} \dots\dots\dots(2.19)$$

(Standart Perencanaan Irigasi KP-03, hal 15)

di mana :

- $V$  = kecepatan rencana (m/det)
- $n$  = koefisien kekasaran Manning (det/m<sup>1/3</sup>)
- $R$  = jari-jari hidrolis (m)
- $i$  = kemiringan saluran
- $A$  = luas penampang basah (m<sup>2</sup>)
- $P$  = keliling basah (m)

### 2.3.7.6 Pemilihan Debit Banjir Rencana

Memilih besar debit banjir rencana dari hasil perhitungan pada metode-metode di atas. Pemilihan ini bisa dilakukan dengan cara :

- a. Didasarkan pada Metode Passing Capacity sebagai barometer.
- b. Melihat debit banjir *history* yang pernah terjadi di sungai tersebut.

## 2.4 PERHITUNGAN NERACA AIR

Perhitungan neraca air dilakukan untuk mengecek apakah air yang tersedia cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi atau tidak. Perhitungan neraca air ini pada akhirnya akan menghasilkan kesimpulan mengenai :

- Pola tanam akhir yang akan dipakai untuk jaringan irigasi yang sedang di rencanakan
- Penggambaran akhir daerah proyek irigasi.

Ada tiga unsur pokok dalam perhitungan neraca air yaitu:

1. Kebutuhan Air
2. Tersedianya Air
3. Neraca Air

Berikut adalah tabel Perhitungan Neraca Air.

**Tabel 2.4. Perhitungan Neraca Air**

BIDANG	Parameter yg dihitung	Neraca Air	Kesimpulan
Meteorologi	Evaporasi dan Curah Hujan	Kebutuhan Air Irigasi	Jatah debit/kebutuhan Luas Daerah irigasi Pola Tanam Pengaturan rotasi
Agronomi dan Tanah	Pola Tanam Koefisien Tanam		
Jaringan irigasi	Efisiensi Irigasi		
Topografi	Daerah Layanan	Debit Andalan	
Hidrologi	Debit Andalan	Debit Minimum persetengah bulan periode 5 th kering bangunan utama	

*Sumber : Standar Perencanaan Irigasi, KP-01, 1986*

#### 2.4.1 Analisis Kebutuhan Air

Menurut jenisnya ada dua macam pengertian kebutuhan air, yaitu :

##### 1. Kebutuhan air untuk tanaman (*Consumptive Use*).

Kebutuhan air untuk tanaman (*Consumptive Use*) yaitu banyaknya air yang dibutuhkan tanaman untuk membuat jaringan tanaman (batang dan daun) dan untuk diuapkan (*evapotranspirasi*), *perkolasi*, curah hujan, pengolahan lahan, dan pertumbuhan tanaman.

Rumus :

$$I_r = E T_c + P - R_e + WLR \dots \dots \dots (2.20)$$

( *Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, PU Pengairan, Hal 5* )

di mana :

$I_r$  = kebutuhan air (mm/hari)

$E$  = evaporasi (mm/hari)

- T = transpirasi (mm)  
P = perkolasi (mm)  
B = infiltrasi (mm)  
W = tinggi genangan (mm)  
Re = hujan efektif (mm/hari)

## 2. Kebutuhan air untuk irigasi.

Kebutuhan air untuk irigasi yaitu kebutuhan air yang digunakan untuk menentukan pola tanaman untuk menentukan tingkat efisiensi saluran irigasi sehingga didapat kebutuhan air untuk masing-masing jaringan.

Perhitungan kebutuhan air irigasi ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya debit yang akan dipakai untuk mengairi daerah irigasi. Setelah sebelumnya diketahui besarnya efisiensi irigasi. Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi pada saluran pembawa dari mulut bendung sampai petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan sadap liar.

### 2.4.1.1 Kebutuhan Air untuk Tanaman

#### 1. Evapotranspirasi

Besarnya evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan metoda Penman yang dimodifikasi oleh Nedeco/Prosida seperti diuraikan dalam PSA – 010. Evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan rumus-rumus teoritis empiris dengan memperhatikan faktor-faktor meteorologi yang terkait seperti suhu udara, kelembaban, kecepatan angin dan penyinaran matahari.

Evapotranspirasi tanaman yang dijadikan acuan adalah rerumputan pendek (albedo = 0,25). Selanjutnya untuk mendapatkan harga evapotranspirasi harus dikalikan dengan koefisien tanaman tertentu. Sehingga evapotranspirasi sama dengan evapotranspirasi potensial hasil perhitungan Penman x *crop factor*. Dari harga evapotranspirasi yang diperoleh, kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan air bagi pertumbuhan dengan menyertakan data curah hujan efektif.

Rumus evapotranspirasi Penman yang telah dimodifikasi adalah sebagai berikut :

Rumus:

$$E_{to} = \frac{1}{L^{-1}x\delta + \Delta(H_{sh}^{ne} - H_{lo}^{ne})} + \frac{\delta E_q}{\delta + A} \dots\dots\dots(2.21)$$

di mana :

$E_{to}$  = indek evaporasi yang besarnya sama dengan evapotranspirasi dari rumput yang dipotong pendek (mm/hr)

$$\begin{aligned} H_{sh}^{ne} &= \text{jaringan radiasi gelombang pendek (Longly/day)} \\ &= \{ 1,75 \{ 0,29 \cos \Omega + 0,52 r \times 10^{-2} \} \} \times \alpha a^h \times 10^{-2} \\ &= \{ a_{ah} \times f(r) \} \times \alpha a^h \times 10^{-2} \\ &= a_{ah} \times f(r) \text{ (Tabel Penman 5)} \end{aligned}$$

$\alpha$  = albedo (koefisien reaksi), tergantung pada lapisan permukaan yang ada untuk rumput = 0,25

$$\begin{aligned} R_a &= \alpha a^h \times 10^{-2} \\ &= \text{radiasi gelombang pendek maksimum secara teori (Longly/day)} \\ &= \text{jaringan radiasi gelombang panjang (Longly/day)} \\ &= 0,97 \alpha T_{ai}^4 \times (0,47 - 0,770 \sqrt{ed} x \{ 1 - 8/10(1 - r) \}) \end{aligned}$$

$$H_{sh}^{ne} = f(T_{ai}) \times f(T_{dp}) \times f(m)$$

$$\begin{aligned} f(T_{ai}) &= \alpha T_{ai}^4 \text{ (Tabel Penman 1)} \\ &= \text{efek dari temperature radiasi gelombang panjang} \end{aligned}$$

$$m = 8(1 - r)$$

$$\begin{aligned} f(m) &= 1 - m/10 \\ &= \text{efek dari angka nyata dan jam penyinaran matahari terang maksimum pada radiasi gelombang panjang} \end{aligned}$$

$r$  = lama penyinaran matahari relatif

$$\begin{aligned} E_q &= \text{evaporasi terhitung pada saat temperatur permukaan sama dengan temperatur udara (mm/hr)} \\ &= 0,35 (0,50 + 0,54 \mu_2) \times (e_a - e_d) \\ &= f(\mu_2) \times PZ^{wa} \text{ sa} - PZ^{wa} \end{aligned}$$

- $\mu_2$  = kecepatan angin pada ketinggian 2m di atas tanah (Tabel Penman 3)
- $PZ^{wa}$  =  $e_a$  = tekanan uap jenuh (mmHg) (Tabel Penman 3)
- =  $e_d$  = tekanan uap yang terjadi (mmHg) (Tabel Penman 3)
- L = panas laten dari penguapan (*longly/minutes*)
- $\Delta$  = kemiringan tekanan uap air jenuh yang berlawanan dengan dengan kurva temperatur pada temperatur udara (mmHg/ $^0$ C)
- $\delta$  = konstanta Bowen (0,49 mmHg/ $^0$ C), kemudian dihitung Eto.
- catatan : 1 *Longly/day* = 1 kal/cm<sup>2</sup>hari

## 2. Perkolasi

Perkolasi adalah meresapnya air ke dalam tanah dengan arah vertikal ke bawah, dari lapisan tidak jenuh. Besarnya perkolasi dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah, kedalaman air tanah dan sistem perakarannya. Koefisien perkolasi adalah sebagai berikut :

- a. Berdasarkan kemiringan :
  - lahan datar = 1 mm/hari
  - lahan miring > 5% = 2 – 5 mm/hari
- b. Berdasarkan tekstur :
  - berat (lempung) = 1 – 2 mm/hari
  - sedang (lempung kepasiran) = 2 -3 mm/hari
  - ringan = 3 – 6 mm/hari

Dari pedoman diatas, harga perkolasi untuk perhitungan kebutuhan air di daerah irigasi Slinga diambil sebesar 2 mm/hari karena jenis tanahnya bertekstur sedang (lempung kepasiran) dengan karakteristik pengolahan tanah yang baik.

## 3. Koefisien Tanaman ( $K_c$ )

Besarnya koefisien tanaman ( $K_c$ ) tergantung dari jenis tanaman dan fase pertumbuhan. Pada perhitungani ini digunakan koefisien tanaman untuk padi dengan varietas unggul mengikuti ketentuan Nedeco/Prosida. Harga-harga koefisien tanaman padi dan palawija disajikan pada tabel 2.5. sebagai berikut.

**Tabel 2.5. Koefisien Tanaman Untuk Padi dan Palawija Menurut Nedeco/Prosida**

Bulan	Padi		Palawija	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Jagung	Kacang Tanah
0,50	1,20	1,20	0,50	0,50
1,00	1,20	1,27	0,59	0,51
1,50	1,32	1,33	0,96	0,66
2,00	1,40	1,30	1,05	0,85
2,50	1,35	1,15	1,02	0,95
3,00	1,24	0,00	0,95	0,95
3,50	1,12			0,95
4,00	0,00			0,55
4,50				0,55

*Sumber : Dirjen Pengairan, Bina Program PSA 010, 1985*

#### 4. Curah Hujan Efektif (Re)

##### a. Besarnya Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah bagian dari curah hujan total yang digunakan oleh akar-akar tanaman selama masa pertumbuhan. Besarnya curah hujan efektif dipengaruhi oleh :

- Cara pemberian air irigasi (rotasi, menerus atau berselang)
- Laju pengurangan air genangan di sawah yang harus ditanggulangi
- Kedalaman lapisan air yang harus dipertahankan di sawah
- Cara pemberian air di petak
- Jenis tanaman dan tingkat ketahanan tanaman terhadap kekurangan air

Untuk irigasi tanaman padi, curah hujan efektif diambil 20% kemungkinan curah hujan bulanan rata-rata tak terpenuhi.

##### b. Koefisien Curah Hujan Efektif

Besarnya koefisien curah hujan efektif untuk tanaman padi berdasarkan tabel 2.6.

**Tabel 2.6 Koefisien Curah Hujan Untuk Padi**

Bulan	Golongan					
	1	2	3	4	5	6
0,50	0,36	0,18	0,12	0,09	0,07	0,06
1,00	0,70	0,53	0,35	0,26	0,21	0,18
1,50	0,40	0,55	0,46	0,36	0,29	0,24
2,00	0,40	0,40	0,50	0,46	0,37	0,31
2,50	0,40	0,40	0,40	0,48	0,45	0,37
3,00	0,40	0,40	0,40	0,40	0,46	0,44
3,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45
4,00	0,00	0,20	0,27	0,30	0,32	0,33
4,50			0,13	0,20	0,24	0,27
5,00				0,10	0,16	0,20
5,50					0,08	0,13
6,00						0,07

Sumber : Dirjen Pengairan, Bina Program PSA 010, 1985

Sedangkan untuk tanaman palawija besarnya curah hujan efektif ditentukan dengan metode curah hujan bulanan yang dihubungkan dengan curah hujan rata-rata bulanan serta evapotranspirasi tanaman rata-rata bulanan berdasarkan tabel 2.7.

**Tabel 2.7 Koefisien Curah Hujan Rata-rata Bulanan dengan ET Tanaman Palawija Rata-rata Bulanan dan Curah Hujan Mean Bulanan**

Curah Hujan Bulanan/mm	mean mm	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	162,5	175	187,5	200
ET tanaman Rata-rata Bulanan/mm	25	Curah Hujan rata-rata bulanan/mm															
	50	8	16	24													
	75	8	17	25	32	39	46										
	100	9	18	27	34	41	48	56	62	69							
	125	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100			
	150	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	97	98	107	116	120	
	175	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133
	200	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141
	225	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	106	117	125	134	142	150
	250	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159
		13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167
Tampungan Efektif		20	25	37,5	50	62,5	75	100	125	150	175	200					
Faktor tampungan		0,73	0,77	0,86	0,93	0,97	1,00	1,02	1,04	1,06	1,07	1,08					

Sumber : Ref.FAO, 1977

## 5. Kebutuhan Air untuk Pengolahan Lahan

### a. Pengolahan Lahan untuk Padi

Kebutuhan air untuk pengolahan atau penyiraman lahan menentukan kebutuhan minimum air irigasi. Faktor-faktor yang menentukan besarnya kebutuhan air untuk pengolahan tanah, yaitu besarnya penjemuran, lamanya pengolahan (periode pengolahan) dan besarnya evaporasi dan perkolasi yang terjadi.

Menurut PSA-010, waktu yang diperlukan untuk pekerjaan persiapan lahan adalah selama satu bulan (30 hari). Kebutuhan air untuk pengolahan tanah bagi tanaman padi diambil 200 mm, setelah tanam selesai lapisan air di sawah ditambah 50 mm. Jadi kebutuhan air yang diperlukan untuk persiapan lahan dan untuk lapisan air awal setelah tanam selesai seluruhnya menjadi 250 mm. Sedangkan untuk lahan yang tidak ditanami (sawah bero) dalam jangka waktu 2,5 bulan diambil 300 mm.

Untuk memudahkan perhitungan angka pengolahan tanah digunakan tabel koefisien Van De Goor dan Zijlstra pada tabel 2.8 berikut ini.

**Tabel 2.8 Koefisien Kebutuhan Air Selama Penyiapan Lahan**

Eo + P mm/hari	T = 30 hari		T = 45 hari	
	S = 250 mm	S = 300 mm	S = 250 mm	S = 300 mm
5,0	11,1	12,7	8,4	9,5
5,5	11,4	13,0	8,8	9,8
6,0	11,7	13,3	9,1	10,1
6,5	12,0	13,6	9,4	10,4
7,0	12,3	13,9	9,8	10,8
7,5	12,6	14,2	10,1	11,1
8,0	13,0	14,5	10,5	11,4
8,5	13,3	14,8	10,8	11,8
9,0	13,6	15,2	11,2	12,1
9,5	14,0	15,5	11,6	12,5
10,0	14,3	15,8	12,0	12,9
10,5	14,7	16,2	12,4	13,2
11,0	15,0	16,5	12,8	13,6

Sumber : Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, 1986

### **b. Pengolahan Lahan untuk Palawija**

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan bagi palawija sebesar 50 mm selama 15 hari yaitu 3,33 mm/hari, yang digunakan untuk menggarap lahan yang ditanami dan untuk menciptakan kondisi lembab yang memadai untuk persemian yang baru tumbuh.

### **6. Kebutuhan Air untuk Pertumbuhan**

Kebutuhan air untuk pertumbuhan padi dipengaruhi oleh besarnya evapotranspirasi tanaman (Etc), perkolasi tanah (p), penggantian air genangan (W) dan hujan efektif (Re). Sedangkan kebutuhan air untuk pemberian pupuk padi tanaman apabila terjadi pengurangan air (sampai tingkat tertentu) pada petak sawah sebelum pemberian pupuk.

#### **2.4.1.2 Kebutuhan Air untuk Irigasi**

##### **1. Pola Tanaman dan Perencanaan Tata Tanam**

Pola tanam adalah suatu pola penanaman jenis tanaman selama satu tahun yang merupakan kombinasi urutan penanaman. Rencana pola dan tata tanam dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air, serta menambah intensitas luas tanam. Suatu daerah irigasi pada umumnya mempunyai pola tanam tertentu, tetapi bila tidak ada pola yang biasa digunakan pada daerah tersebut direkomendasikan pola tanaman padi-padi-palawija.

Pemilihan pola tanam ini didasarkan pada sifat tanaman hujan dan kebutuhan air.

- a. Sifat tanaman padi terhadap hujan dan kebutuhan air
  - Pada waktu pengolahan memerlukan banyak air
  - Pada waktu pertumbuhannya memerlukan banyak air dan pada saat berbunga diharapkan hujan tidak banyak agar bunga tidak rusak dan padi baik.
- b. Palawija
  - Pada waktu pengolahan membutuhkan air lebih sedikit daripada padi
  - Pada pertumbuhan sedikit air dan lebih baik lagi bila tidak turun hujan.

Setelah diperoleh kebutuhan air untuk pengolahan lahan dan pertumbuhan, kemudian dicari besarnya kebutuhan air untuk irigasi berdasarkan pola tanam dan rencana tata tanam dari daerah yang bersangkutan.

## 2. Efisiensi Irigasi

Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi pada saluran pembawa, mulai dari bendung sampai petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan sadap liar. Besarnya angka efisiensi tergantung pada penelitian lapangan pada daerah irigasi.

Pada perencanaan jaringan irigasi, tingkat efisiensi ditentukan menurut kriteria standar perencanaan yaitu sebagai berikut :

- Kehilangan air pada saluran primer adalah 7,5 – 12,5 %, diambil 10%  
Faktor koefisien =  $100/90 = 1,11$ .
- Kehilangan air pada saluran sekunder adalah 7,5 – 15,5 %, diambil 13%  
Faktor koefisien =  $100/87 = 1,15$ .

### 2.4.2 Analisis Debit Andalan

Perhitungan debit andalan bertujuan untuk menentukan areal persawahan yang dapat diairi. Perhitungan ini menggunakan cara analisis *water balance* dari Dr.F.J. Mock berdasarkan data curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran.

Prinsip perhitungan ini adalah bahwa hujan yang jatuh di atas tanah (presipitasi) sebagian akan hilang karena penguapan (evaporasi), sebagian akan hilang menjadi aliran permukaan (*direct run off*) dan sebagian akan masuk tanah (infiltrasi). Infiltrasi mula-mula menjenuhkan permukaan (*top soil*) yang kemudian menjadi perkolasi dan akhirnya keluar ke sungai sebagai *base flow*.

Perhitungan debit andalan meliputi :

#### 1. Data curah hujan

$R_s$  = curah hujan bulanan (mm)

$n$  = jumlah hari hujan.

## 2. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi terbatas dihitung dari evapotranspirasi potensial metode Penman.

$$dE / Eto = ( m / 20 ) x ( 18 - n )$$

$$dE = ( m / 20 ) x ( 18 - n ) x Eto$$

$$Etl = Eto - dE$$

di mana :

dE = selisih evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi terbatas.

Eto = evapotranspirasi potensial.

Etl = evapotranspirasi terbatas

M = prosentase lahan yang tidak tertutup vegetasi.

= 10 – 40 % untuk lahan yang tererosi.

= 30 – 50 % untuk lahan pertanian yang diolah.

## 3. Keseimbangan air pada permukaan tanah

Rumus mengeni air hujan yang mencapai permukaan tanah, yaitu :

$$S = Rs - Etl$$

$$SMC(n) = SMC (n-1) + IS (n)$$

$$WS = S - IS$$

di mana :

S = kandungan air tanah

Rs = curah hujan bulanan

Etl = evapotranspirasi terbatas

IS = tampungan awal / *Soil Storage* (mm)

IS (n) = tampungan awal / *Soil Storage* bulan ke-n (mm)

SMC = kelembaban tanah / *Soil Storage Moisture* (mm) diambil antara 50 - 250 mm

SMC (n) = kelembaban tanah bulan ke – n

SMC (n-1) = kelembaban tanah bulan ke – (n-1)

WS = *water surplus* / volume air berlebih

#### 4. Limpasan (*run off*) dan tampungan air tanah (*ground water storage*)

$$V(n) = k.V(n-1) + 0,5.(1-k). I(n)$$

$$dV_n = V(n) - V(n-1)$$

di mana :

$$V(n) = \text{volume air tanah bulan ke-}n$$

$$V(n-1) = \text{volume air tanah bulan ke-}(n-1)$$

$$k = \text{faktor resesi aliran air tanah diambil antara } 0-1,0$$

$$I = \text{koefisien infiltrasi diambil antara } 0-1,0$$

Harga k yang tinggi akan memberikan resesi yang lambat seperti pada kondisi geologi lapisan bawah yang sangat lulus air. Koefisien infiltrasi ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran.

Lahan yang porus mempunyai infiltrasi lebih tinggi dibanding tanah lempung berat. Lahan yang terjal menyebabkan air tidak sempat berinfiltrasi ke dalam tanah sehingga koefisien infiltrasi akan kecil.

#### 5. Aliran sungai

$$\text{Aliran dasar} = \text{infiltrasi} - \text{perubahan volume air dalam tanah}$$

$$B(n) = I - dV(n)$$

$$\text{Aliran permukaan} = \text{volume air lebih} - \text{infiltrasi}$$

$$D(ro) = WS - I$$

$$\text{Aliran sungai} = \text{aliran permukaan} + \text{aliran dasar}$$

$$\text{Run off} = D(ro) + B(n)$$

$$\text{Debit} = \frac{\text{aliran sungai} \times \text{luas DAS}}{\text{satu bulan (Detik)}} \dots\dots\dots (2.22)$$

#### 2.4.3 Naraca Air

Dari hasil perhitungan neraca air, kebutuhan pengambilan yang dihasilkannya untuk pola tanam yang dipakai akan dibandingkan dengan debit andalan untuk tiap setengah bulan dan luas daerah yang bisa diairi, luas daerah irigasi, jatah debit air dan pola pengaturan rotasi. Apabila debit sungai melimpah, maka luas daerah irigasi adalah tetap karena luas maksimum daerah layanan dan

proyek yang akan direncanakan sesuai dengan pola tanam yang dipakai. Jika debit sungai kurang maka terjadi kekurangan debit, maka ada tiga pilihan yang perlu dipertimbangkan sebagai berikut :

- Luas daerah irigasi dikurangi.
- Melakukan modifikasi pola tanam.
- Rotasi teknis/golongan.

## 2.5 ANALISIS HIDROLIS BENDUNG DAN SALURAN PRIMER

Analisis hidrolis bendung meliputi tubuh bendung itu sendiri dan saluran-saluran pelengkap sesuai dengan tujuan bendung. Perhitungan struktur bendung dimulai dengan analisis saluran yaitu saluran induk/primer, pintu romijn, saluran kantong lumpur, saluran penguras kantong lumpur dan saluran *intake*. Dari saluran *intake* ini dapat diketahui elevasi muka air pengambilan, di mana elevasi ini digunakan sebagai acuan dalam menentukan tinggi mercu bendung.

Setelah elevasi mercu diketahui maka analisis struktur bendung dapat dihitung, yaitu menentukan lebar bendung, kolam olak, lantai muka, bangunan pembilas.

### 2.5.1 Pemilihan Tipe Bendung

Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan tipe bendung adalah :

- Sifat dan kekuatan tanah dasar.
- Jenis material yang diangkut oleh aliran sungai.
- Keadaan/kondisi daerah aliran sungai di bagian hulu, tengah dan hilir.
- Tinggi muka air banjir maksimum yang pernah terjadi.
- Kemudahan eksploitasi dan pemeliharaan.
- Efisiensi biaya pelaksanaan.

Adapun alternatif pemilihan tipe bangunan utama/bendung Slinga, yaitu :

- Bendung Tetap.
- Bendung Gerak.
- Bendung Karet.

**Bendung Tetap** adalah suatu bangunan air melintang sungai dengan konstruksi bangunan tetap yang berfungsi untuk menaikkan muka air sungai agar dapat digunakan untuk mengairi sawah tertinggi pada daerah pengairannya.

Keuntungannya :

1. Operasi dan pemeliharaannya lebih murah dan mudah.
2. Stabilitasnya besar karena memanfaatkan berat sendiri dari bangunan bendung tersebut.
3. Tahan terhadap kondisi alam.

Kerugiannya :

1. Pembuatannya mahal.
2. Diperlukan bangunan tanggul penahan banjir yang tinggi akibat *backwater*.
3. Tanah dasar yang baik untuk kedudukan pondasi agar tidak terjadi penurunan tanah dasar.

**Bendung Gerak** adalah bangunan air yang melintang sungai dengan pintu yang dapat dibuka dan ditutup berfungsi sebagai pelimpah air pada waktu terjadi banjir besar serta untuk meninggikan muka air tertentu pada bangunan pengambilan.

Keuntungannya :

1. Penggunaan Bendung Gerak yaitu debit banjir bisa melalui bendung tanpa memberikan tambahan kenaikan tinggi muka air ke hulu (*backwater*) yang besar.
2. Dapat mengontrol muka air untuk pemasukan kebutuhan irigasi.
3. Kapasitas lolosnya lebih besar daripada bendung tetap.

Kerugiannya :

1. Biaya operasional lebih mahal dan lebih sulit karena harus ada pengontrolan secara rutin, selain itu durabilitas dan ketahanan menghadapi kondisi medan yang ada belum pernah teruji.

**Bendung Karet** adalah bangunan yang bila muka air banjir mencapai elevasi tertentu sesuai dengan yang direncanakan maka akan mengempis secara otomatis dalam waktu 15-30 menit. Dengan demikian air banjir yang datang dengan tiba-tiba akan melimpah di atas tanggul.

Keuntungannya :

1. Waktu pelaksanaan lebih murah.
2. Pengoperasiannya lebih mudah terutama untuk pengendalian banjir.
3. Bendung dapat membuka secara penuh.
4. Tahan lama.
5. Dapat dipasang pada bentang yang cukup lebar sehingga menghemat kebutuhan air.

Kerugiannya :

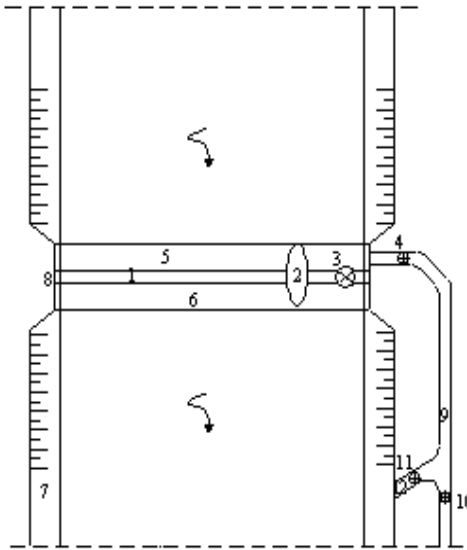
1. Tidak bisa mengatur tinggi muka air secara akurat.
2. Tidak bisa melimpahkan debit secara akurat.
3. Harga koefisien pelimpah debit dapat berubah dengan perubahan bentuk apabila bendung dikembangkan sempurna/sebagian/kosong.
4. Harga bangunannya sangat mahal.

*(KP-02 Standar Perencanaan Irigasi )*

Berdasarkan faktor-faktor di atas dan hasil penyelidikan di lapangan, maka dapat dianalisis bahwa sungai Klawing memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Sifat dan kekuatan tanah dasarnya bersifat kedap air dan memiliki daya dukung tanah yang cukup tinggi.
- Jenis material yang diangkut adalah campuran lanau, pasir, gravel, dengan sedikit lempungan.
- Dari data debit *history* dapat diketahui debit maksimum yang pernah terjadi.

Dengan pertimbangan hal-hal di atas, maka dapat ditentukan tipe bendung yang cocok untuk sungai Klawing adalah bendung tetap di mana bendung tetap diharapkan dapat mengalirkan berbagai jenis material yang diangkut, selain itu dilihat dari biaya pemeliharaan, eksploitasi dan biaya pelaksanaan bendung relatif lebih murah dibandingkan dengan bendung gerak maupun bendung karet. Adapun gambar tampak bendung tetap dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3 Skema Bendung Tetap, Intake Kiri dengan Kantong Lumpur.**

Keterangan :

1. Mercu bendung.
2. Pilar.
3. Pintu penguras bendung.
4. Pintu pengambilan.
5. Lantai muka.
6. Lantai olakan.
7. Lembah sayap.
8. Dinding tegak.
9. Kantong lumpur.
10. Pintu pengambilan saluran.
11. Pintu penguras kantong lumpur.
12. Saluran penguras kantong lumpur.

### 2.5.2 Pemilihan Lokasi Bendung

Faktor yang menentukan dalam pemilihan lokasi bendung yaitu :

- Keadaan topografi daerah yang akan diairi sedemikian rupa sehingga seluruh daerah rencana tersebut dapat terairi secara gravitasi.

- Penempatan lokasi bendung yang tepat dilihat dari segi hidraulik dan angkutan sedimen sehingga aliran ke *intake* tidak mengalami gangguan dan angkutan sedimen yang masuk ke *intake* dapat dihindari. Untuk menjamin aliran lancar masuk *intake*, salah satu syaratnya yaitu bendung harus terletak di tikungan luar aliran atau di bagian sungai yang lurus dan harus dihindari penempatan bendung di tikungan sebelah dalam aliran.
- Bendung harus ditempatkan di lokasi di mana tanah pondasinya cukup baik sehingga bangunan akan setabil.
- Beda tinggi energi di atas bendung dibatasi 6 m

### 2.5.3 Saluran Primer

Untuk menentukan dimensi saluran primer terlebih dahulu harus diketahui elevasi saluran primer, di mana elevasi air di saluran primer ditentukan sebagai berikut :

- Elevasi sawah terjauh dan tertinggi yang akan diairi.
- Tinggi genangan air di sawah.
- Jumlah kehilangan energi :
  - dari saluran tersier ke sawah.
  - dari saluran sekunder ke tersier.
  - dari saluran primer ke sekunder.
  - akibat kemiringan saluran.
  - kehilangan energi di saluran pengambilan atau sadap.

Dimensi saluran dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = V \cdot A$$

$$A = (b + m \cdot h)h$$

$$P = b + 2 \cdot h \sqrt{m^2 + 1}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \dots\dots\dots(2.23)$$

( Standar Perencanaan Irigasi KP-03, hal 15 )

di mana :

$V$  = kecepatan rencana (m/det)

$n$  = koefisien kekasaran Manning (det/m<sup>1/3</sup>)

$R$  = jari-jari hidrolis (m)

$i$  = kemiringan saluran

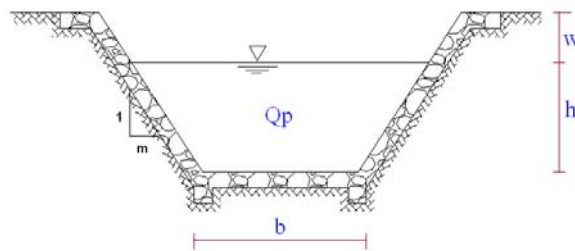
$A$  = luas penampang basah (m<sup>2</sup>)

$P$  = keliling basah (m)

$m$  = kemiringan talud saluran

$h$  = kedalaman air (m)

$b$  = lebar dasar saluran (m)



**Gambar 2.4 Potongan Melintang Dimensi Saluran Primer**

#### 2.5.4 Alat Pengukur Debit

Parameter dalam menentukan pemilihan alat pengukur debit adalah sebagai berikut :

- Kecocokan bangunan untuk keperluan pengukuran debit.
- Ketelitian pengukuran di lapangan.
- Bangunan yang kokoh, sederhana dan ekonomis.
- Rumus debit sederhana dan teliti.
- Eksploitasi dan pembacaan mudah.
- Pemeliharaan mudah dan murah.
- Cocok dengan kondisi setempat dan dapat diterima oleh para petani.

**a. Alat Ukur Romijn**

Alat ukur ini digunakan di depan bangunan *intake* saluran. Alat ukur ini juga berfungsi mengatur dan mengukur debit serta sebagai pintu saluran primer. Untuk menentukan h pintu didapat dari tabel Q dan b seperti tabel 2.9 berikut.

**Tabel 2.9 Tipe Pintu Romijn**

	TIPE ROMIJN STANDAR					
	I	II	III	IV	V	VI
Lebar (m)	0.50	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
Kedalaman maks.aliran pada muka air rencana	0.33	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Debit maks.pada muka air rencana	160	300	450	600	750	900
Kehilangan energi	0.08	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Elevasi dasar di bawah muka air rencana	0.81 + V	1.15 + V	1.15 + V	1.15 + V	1.15 + V	1.15 + V
V = Varian = 0.18 x Hmaks						

Sumber : Buku *Petunjuk Perencanaan Irigasi 1986*

Kelebihan alat ukur Romijn adalah sebagai berikut :

- Bangunan ini bisa mengukur dan mengatur debit sekaligus
- Dapat membilas endapan sedimen halus
- kehilangan energi relatif kecil
- Ketelitian baik
- Eksplotasi mudah

Kekurangan alat ukur Romijn adalah sebagai berikut :

- Pembuatannya rumit dan mahal
- Bangunan ini membutuhkan muka air yang tinggi di saluran
- Biaya pemeliharaan bangunan itu relatif mahal
- Bangunan ini bisa disalahgunakan dengan jalan membuka pintu bawah
- Bangunan ini peka terhadap fluktuasi muka air di saluran pengarah.

**b. Alat Ukur Ambang Lebar**

Alat ukur ini dianjurkan karena bangunan ini kokoh, mudah dibuat dan mudah disesuaikan dengan tipe saluran. Pembacaan debit dengan alat ukur ini dapat dilakukan secara langsung, karena hanya menyatakan hubungan antara muka air hulu dengan debit.

Kelebihan alat ukur ambang lebar adalah sebagai berikut :

- Bentuk hidrolis luwes dan sederhana.
- Konstruksi kuat, sederhana dan tidak mahal.
- Benda-benda hanyut dapat dilewatkan dengan mudah.
- Eksploitasi mudah.

Kelemahan alat ukur ambang lebar adalah sebagai berikut :

- Bangunan ini hanya bisa digunakan untuk mengukur saja.
- Agar pengukuran teliti, aliran tidak boleh tenggelam.

### c. Alat Ukur *Crump – de Gruyter*

Alat ukur *Crump – de Gruyter* dipakai pada muka air di saluran selalu mengalami fluktuasi dan muka air rendah di saluran. Alat ukur ini mempunyai kehilangan tinggi energi yang lebih besar daripada alat ukur Romijn. Penggunaannya dengan cara menggerakkan pintu ke arah vertikal.

Kelebihan alat *Crump – de Gruyter* adalah sebagai berikut :

- Bangunan ini dapat mengukur dan mengatur debit sekaligus.
- Bangunan ini kuat dan tidak ada masalah dengan sedimen.
- Eksploitasi mudah dan pengukuran teliti

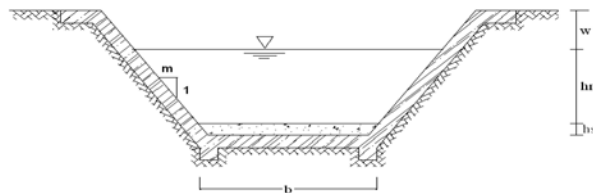
Kelemahan alat *Crump – de Gruyter* adalah sebagai berikut :

- Pembuatannya rumit dan mahal.
- Biaya pemeliharaan mahal.
- Kehilangan tinggi energi besar.
- Bangunan ini ada masalah dengan benda-benda hanyut.

Dilihat dari segi kelebihan dan kekurangan, maka alat ukur debit Romijn sangat cocok digunakan.

## 2.5.5 Saluran Kantong Lumpur

Kantong lumpur merupakan pembesaran potongan melintang saluran sampai panjang tertentu untuk mengurangi kecepatan aliran dan kesempatan pada sedimen untuk mengendap. Untuk menampung endapan sedimen tersebut dasar bagian saluran tersebut diperdalam dan diperlebar. Tampang ini dibersihkan setiap jangka waktu tertentu dengan cara membilas sedimennya kembali ke sungai dengan aliran super kritis. Kantong lumpur ditempatkan dibagian awal dari saluran primer tepat dibagian belakang pengambilan.



**Gambar 2.5 Potongan Melintang Kantong Lumpur**

Keterangan :

- w = tinggi jagaan (m)
- b = lebar kantong lumpur (m)
- hn = kedalaman air (m)
- hs = tebal lumpur (m)
- m = kemiringan talud saluran

Perhitungan kantong lumpur diasumsikan sama dengan saluran primer.

- Perhitungan Kemiringan Saluran Kantong Lumpur ( $i_n$ )

Rumus:

$$Vn = \frac{1}{n} x (Rn)^{2/3} x i_n^{1/2} \dots\dots\dots (2.24)$$

(Standar Perencanaan Irigasi KP-02)

$$Qn = VnxAn$$

di mana :

$V_n$  = kecepatan rata-rata selama eksploitasi normal = 0,40 m/det

$n$  = koefisien kekasaran Manning (det/m<sup>1/3</sup>)

$R_n$  = jari-jari hidrolis (m)

$i_n$  = kemiringan saluran

$Q_n$  = kebutuhan pengambilan rencana (m<sup>3</sup>/det)

$A_n$  = luas penampang basah (m<sup>2</sup>)

- Perhitungan Kemiringan Saluran Kantong Lumpur ( $i_s$ )

Agar pengambilan dapat dilakukan dengan baik, maka kecepatan aliran harus tetap kritis di mana  $Fr = 1$ .

Rumus :

$$\text{Kedalaman kritis (hc)} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad \text{di mana } q = \frac{Q}{B} \quad \text{maka : } hc = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{B}\right)^2 * \frac{1}{g}}$$

$$V_s = \sqrt{g * h_s}$$

$$Fr = \frac{V_s}{\sqrt{g * h_s}} = 1$$

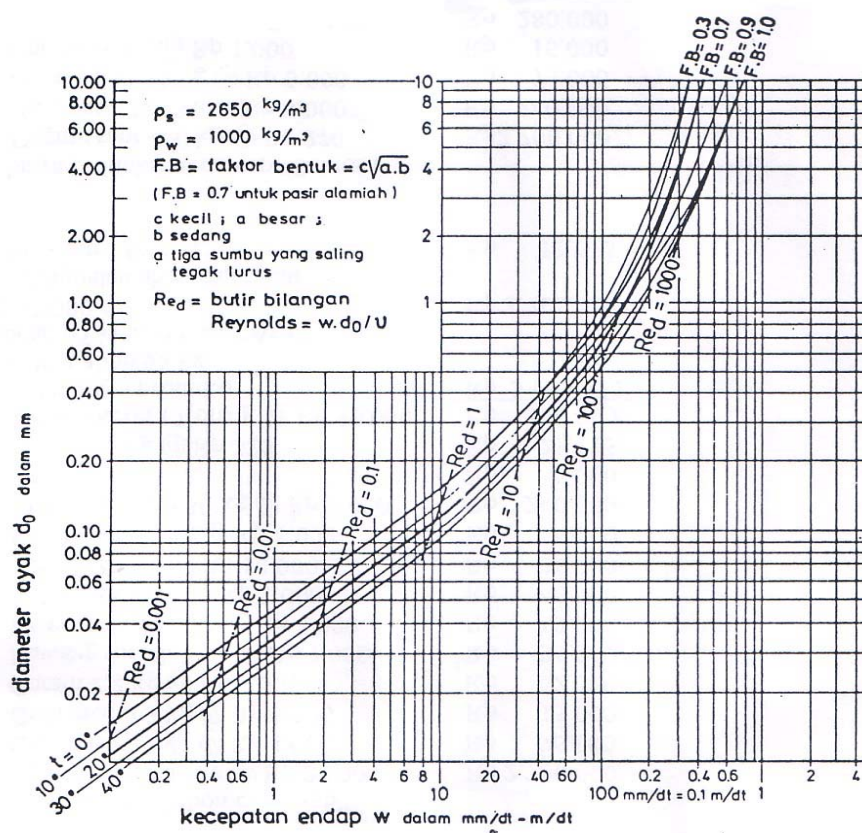
$$\text{Kemiringan saluran ( } i_s \text{ )} = \frac{V_s^2}{\left(\frac{1}{n_s} * R_s^{2/3}\right)^2}$$

- Perhitungan Panjang Kantong Lumpur

Rumus :

$$\frac{hn}{w} = \frac{L}{V_n}$$

$w$  = kecepatan endap, diambil berdasarkan hubungan antara diameter saringan dan kecepatan endap untuk air tenang (KP-02 hal 145). Dengan diameter sedimen 0,07 mm dan suhu air sebesar 20°C maka didapat kecepatan endap sebesar 0,004 m/det. Grafiknya dapat dilihat pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6 Grafik Hubungan Diameter Saringan dan Kecepatan Endap Lumpur untuk Air Tenang**

### 2.5.6 Pintu Penguras Kantong Lumpur

Pintu penguras kantong lumpur tidak boleh terjadi gangguan selama pembilasan, oleh karena itu aliran pada pintu penguras tidak boleh tenggelam. Penurunan kecepatan aliran akan mengakibatkan menurunnya kapasitas angkutan sedimen, oleh karena itu untuk menambah kecepatan aliran tidak boleh berkurang, untuk menambah kecepatan aliran maka dibuat kemiringan saluran yang memungkinkan untuk kemudahan dalam transport sedimen.

### 2.5.7 Bangunan Pengambilan atau Intake

Bangunan pengambilan adalah sebuah bangunan berupa pintu air yang terletak di samping kiri bendung. Fungsi bangunan ini adalah untuk membelokkan aliran air dari sungai dalam jumlah yang diinginkan untuk kebutuhan irigasi.

Saluran pembilas pada bangunan pengambilan dilengkapi dengan pintu dan bagian depannya terbuka untuk menjaga jika terjadi muka air tinggi selama banjir. Besarnya bukaan pintu tergantung dengan kecepatan aliran masuk yang diinginkan. Kecepatan ini tergantung pada ukuran butir bahan yang diangkut.

Elevasi lantai *intake* diambil minimal satu meter di atas lantai hulu bendung karena sungai mengangkut pasir dan kerikil. Pada keadaan ini makin tinggi lantai dari dasar sungai maka akan semakin baik, sehingga pencegahan angkutan sedimen dasar masuk ke *intake* juga makin baik. Tetapi bila lantai *intake* terlalu tinggi maka debit air yang tersadap menjadi sedikit, untuk itu perlu membuat *intake* arah melebar. Agar penyadapan air dapat terpenuhi dan pencegahan sedimen masuk ke *intake* dapat dihindari, maka perlu diambil perbandingan tertentu antara lebar dengan tinggi bukaan.

Pada perencanaan bendung ini direncanakan *intake* kiri dengan pintu berlubang satu, lebar satu pintu tidak lebih dari 2,5 meter dan diletakkan di bagian hulu. Pengaliran melalui bawah pintu *intake*, sedangkan besarnya debit dapat diatur melalui tinggi bukaan pintu. Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan (*dimention requirement*), guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek, sehingga :

$$Q_n = 1,2 * Q \dots\dots\dots(2.25)$$

(Standar perencanaan Irigasi KP-02)

$$Q_n = \mu . a . b . \sqrt{2 . g . z} \dots\dots\dots(2.26)$$

(Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, PU Pengairan, Hal: 76 )

di mana :

$Q_n$  = debit rencana ( $m^3/det$ )

$Q$  = kebutuhan air di sawah ( $m^3/det$ )

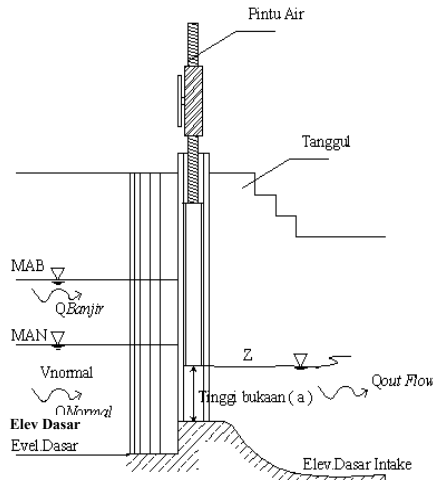
$\mu$  = koefisien debit

$a$  = tinggi bukaan (m)

$b$  = lebar bukaan (m)

$g$  = gaya gravitasi = 9,81  $m/det^2$

$z$  = kehilangan tinggi energi pada bukaan antara 0,15 – 0,30 m



**Gambar 2.7 Bangunan Pengambilan**

### 2.5.8 Lebar Bendung

Lebar bendung adalah jarak antara pangkal-pangkalnya (abutment) dan sebaiknya sama dengan lebar rata-rata sungai pada bagian yang stabil. Pada bagian ruas bawah sungai, lebar rata-rata tersebut dapat diambil pada debit penuh (*bankfull discharge*), sedangkan pada bagian atas sungai sulit untuk menentukan debit penuh. Lebar maksimum bendung sebaiknya tidak lebih dari 1,2 kali rata-rata lebar sungai pada alur yang stabil.

Lebar total bendung tidak seluruhnya dimanfaatkan untuk melewati debit air karena adanya pilar dan bangunan penguras, jadi lebar bendung yang bermanfaat untuk melewati debit disebut lebar efektif ( $B_e$ ), yang dipengaruhi oleh tebal pilar dan koefisien kontraksi pilar dan pangkal bendung.

Dalam menentukan lebar efektif perlu diketahui mengenai eksploitasi bendung, di mana pada saat air banjir datang pintu penguras dan pintu pengambilan harus ditutup. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah masuknya benda yang terangkut oleh banjir yang dapat menyumbat pintu penguras bila pintu terbuka dan air banjir masuk ke saluran induk.

$$\text{Rumus : } B_e = B - 2(n.K_p + K_a)H_1 \dots \dots \dots (2.27)$$

(Irigasi dan Bangunan Air, Gunadharma, Hal :114)

di mana :

$B_e$  = lebar efektif bendung (m)  $\rightarrow$   $(B_1+B_2+B_3)$

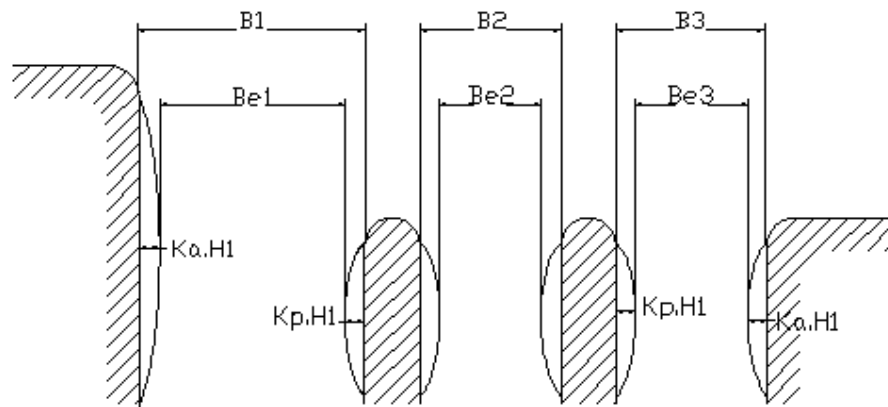
$B$  = lebar mercu sebenarnya (m)  $\rightarrow$   $(B_1+B_2+B_3)$

$K_p$  = koefisien kontraksi pilar

$K_a$  = koefisien kontraksi pangkal bendung

$n$  = jumlah pilar

$H_1$  = tinggi energi (m)



**Gambar 2.8 Sketsa Lebar Efektif Bendung**

**Tabel 2.10 Harga-harga Koefisien Kontraksi Pilar ( $K_p$ )**

No		$K_p$
1	Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut yang bulat pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
2	Untuk pilar berujung bulat	0,01
3	Untuk pilar berujung runcing	0,00

*Sumber : Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma*

**Tabel 2.11 Harga-harga Koefisien Kontraksi Pangkal Bendung ( $K_a$ )**

No		$K_a$
1	Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada $90^\circ$ ke arah aliran	0,20
2	Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada $90^\circ$ ke arah aliran dengan $0,5 H_1 > r > 0,15 H_1$	0,10
3	Untuk pangkal tembok bulat di mana $r > 0,5 H_1$ dan tembok hulu tidak lebih dari $45^\circ$ ke arah aliran	0,00

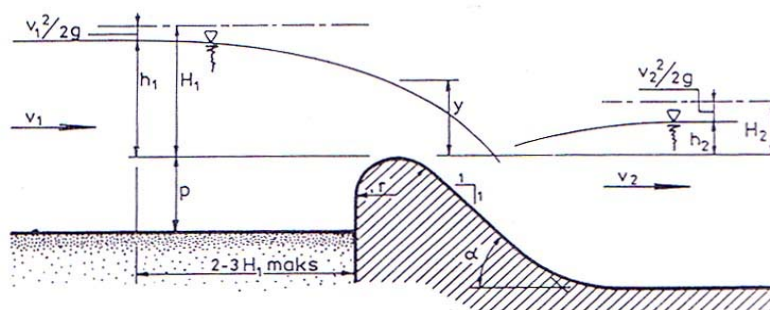
Sumber : *Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma*

### 2.5.9 Menentukan Tipe Mercu Bendung

Untuk tipe mercu bendung di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe mercu, yaitu tipe *Ogee* dan tipe bulat. Kedua bentuk mercu tersebut dapat dipakai untuk konstruksi beton maupun pasangan batu atau bentuk kombinasi dari keduanya.

#### 2.5.9.1 Mercu Bulat

Bendung dengan mercu bulat memiliki harga koefisien debit yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien bendung ambang lebar. Pada sungai ini akan banyak memberikan keuntungan karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisien debit menjadi lebih tinggi karena lengkung *streamline* dan tekanan negatif ada mercu.



**Gambar 2.9 Bendung dengan Mercu Bulat**

Sumber : *KP-02 Bangunan Utama*

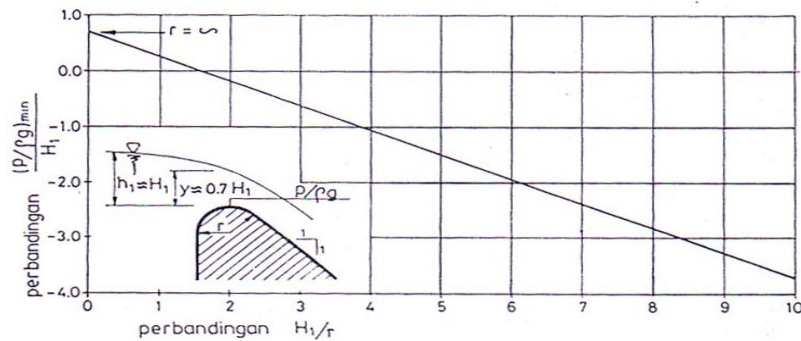
Tekanan pada mercu adalah fungsi perbandingan antara  $H_1$  dan  $r$  ( $H_1/r$ ). Untuk bendung dengan dua jari-jari ( $R_2$ ), jari-jari hilir akan digunakan untuk menemukan harga koefisien debit.

Untuk menghindari bahaya kavitas lokal, tekanan minimum pada mercu bendung harus dibatasi sampai  $-4$  m tekanan air jika mercu tersebut dari beton. Untuk pasangan batu tekanan *subatmosfer* sebaiknya dibatasi sampai  $-1$  m tekanan air. Persamaan energi dan debit untuk bendung ambang pendek dengan pengontrol segi empat adalah sebagai berikut :

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot g \cdot Be \cdot H_1^{3/2} \dots\dots\dots (2.28)$$

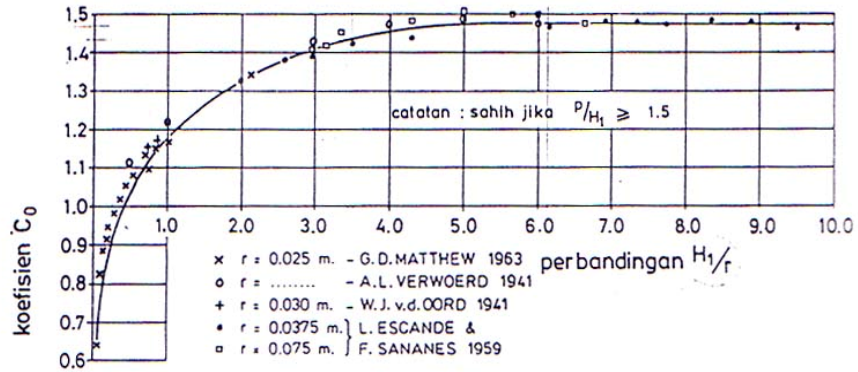
di mana :

- Q = debit ( $m^3/dt$ )
- Cd = koefisien debit ( $Cd = C_0C_1C_2$ )
- g = percepatan gravitasi ( $9,81 m/dt^2$ )
- b = panjang mercu (m)
- $H_1$  = tinggi di atas mercu (m)
- $C_0$  = fungsi  $H_1/r$  (lihat gambar 2.11)
- $C_1$  = fungsi  $p/H_1$  (lihat gambar 2.12)
- $C_2$  = fungsi  $p/H_1$  dan kemiringan muka hulu bendung (lihat gambar 2.13)
- $C_0$  mempunyai harga maksimum 1,49 jika  $H_1/r$  lebih dari 5,0 (lihat gambar 2.11)



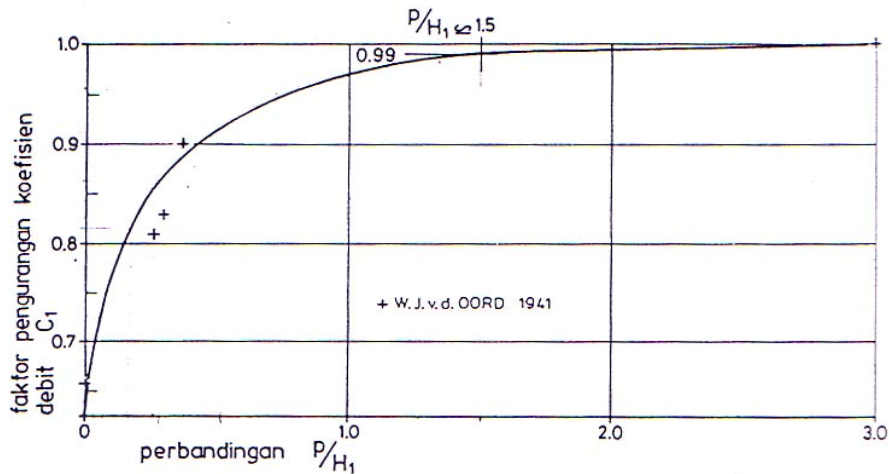
**Gambar 2.10 Tekanan pada Mercu Bendung Bulat sebagai Fungsi Perbandingan  $H_1/r$**

Sumber : KP-02 Bangunan Utama



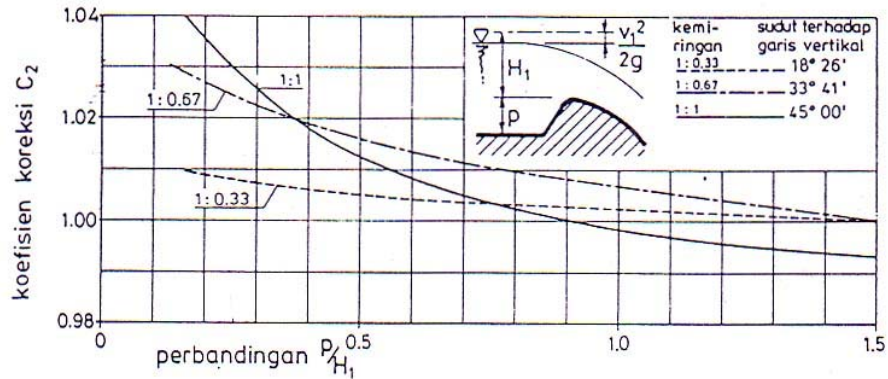
**Gambar 2.11** Harga-harga Koefisien  $C_0$  untuk Bendung Ambang Bulat sebagai Fungsi Perbandingan  $H_1/r$

Sumber : KP-02 Bangunan Utama



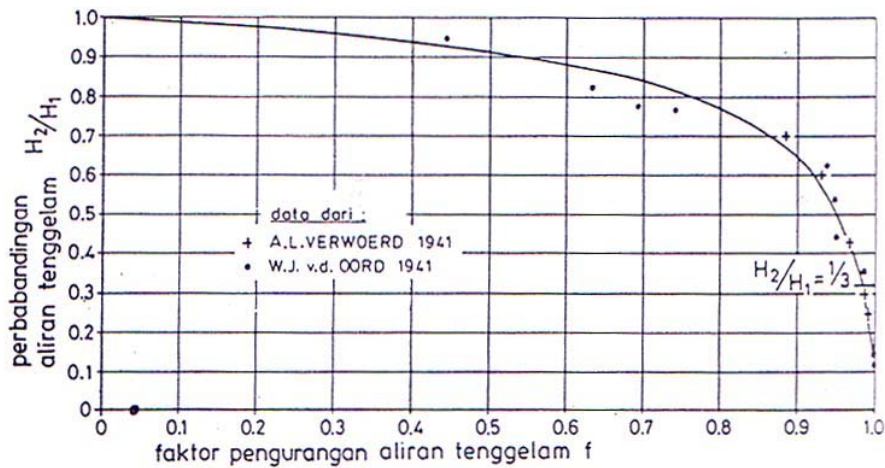
**Gambar 2.12** Koefisien  $C_1$  sebagai Fungsi Perbandingan  $p/H_1$

Sumber : KP-02 Bangunan Utama



**Gambar 2.13** Harga-harga Koefisien  $C_2$  untuk Bendung Mercu Ogee dengan Muka Hulu Melengkung ( menurut USBR,1960 )

Sumber : KP-02 Bangunan Utama



**Gambar 2.14** Faktor Pengurangan Aliran Tenggelam sebagai Fungsi  $H_2/H_1$

Sumber : KP-02 Bangunan Utama

### 2.5.9.2 Mercu Ogee

Mercu *Ogee* berbentuk tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam aerasi. Oleh karena itu mercu tidak akan memberikan tekanan *subatmosfer* pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Untuk debit yang lebih rendah, air akan memberikan tekanan ke bawah pada mercu.

Untuk merencanakan permukaan mercu *Ogee* bagian hilir *U.S Army Corps of Engineers* mengembangkan persamaan :

$$\frac{Y}{hd} = \frac{1}{k} \left[ \frac{X}{hd} \right]^n \dots\dots\dots(2.29)$$

di mana :

X dan Y = koordinator-koordinator permukaan hilir

hd = tinggi rencana di atas mercu

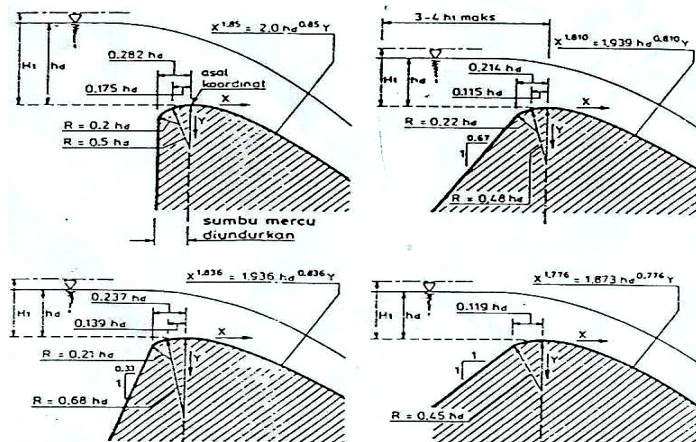
k dan n = koefisien kemiringan permukaan hilir

**Tabel 2.12 Harga – harga K dan n**

Kemiringan permukaan hilir	K	n
Vertikal	2,000	1,850
3 : 1	1,936	1,836
3 : 2	1,939	1,810
1 : 1	1,873	1,776

Sumber : *KP-02 Standar Perencanaan Irigasi*

Bentuk - bentuk mercu dapat dilihat pada Gambar 2.15 adalah sebagai berikut :



**Gambar 2.15 Type Mercu Ogee**

Sumber : *KP-02 Bangunan Utama*

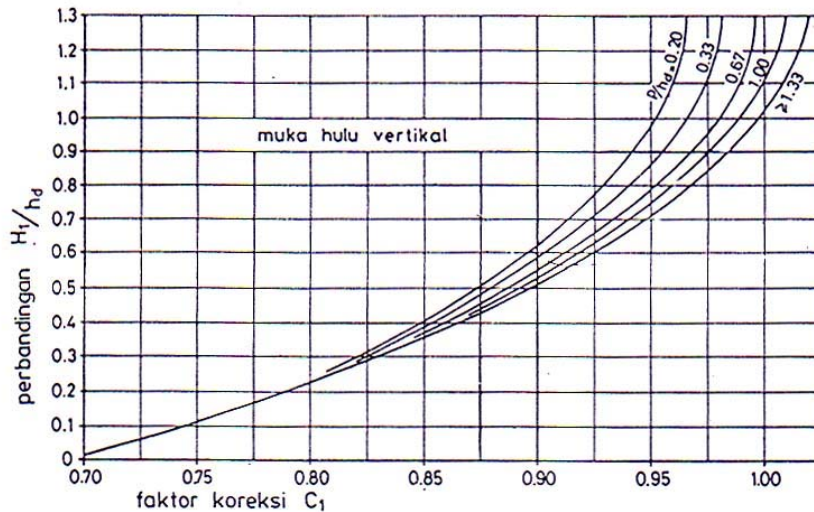
Bangunan hulu mercu bervariasi disesuaikan dengan kemiringan permukaan hilir. Persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bendung *Ogee* adalah :

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot g \cdot Be \cdot H_1^{3/2} \dots\dots\dots(2.30)$$

di mana :

- C<sub>d</sub> = koefisien debit (C<sub>0</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>)
- g = gravitasi (m /dt<sup>2</sup>)
- b = lebar mercu (m)
- H<sub>1</sub> = tinggi energi di atas ambang (m)
- C<sub>0</sub> = konstanta = 1,30
- C<sub>1</sub> = fungsi p/hd dan H<sub>1</sub>/hd
- C<sub>2</sub> = faktor koreksi untuk permukaan hulu

Faktor koreksi C<sub>1</sub> disajikan dalam gambar 2.19 dan sebaiknya dipakai untuk berbagai tinggi bendung di atas dasar sungai.



**Gambar 2.16 Faktor Koreksi untuk Selain Tinggi Energi Rencana pada Bendung Mercu Ogee (Menurut Ven Te Chow, 1959, Berdasarkan Data USBR dan WES)**

*Sumber : KP-02 Bangunan Utama*

Di dalam merencanakan bendung tetap Slinga ini menggunakan mercu tipe bulat.

Adapun pertimbangan menggunakan mercu bulat sebagai berikut :

- Mempunyai bentuk mercu yang besar, sehingga lebih tahan terhadap benturan batu bongkah.
- Tahan terhadap goresan atau abrasi, karena mercu bendung diperkuat oleh pasangan batu kali dan beton bertulang.
- Pengaruh kavitasi hampir tidak ada atau tidak begitu besar.
- Jari-jari mercu bendung harus memenuhi syarat minimum yaitu  $0,3 H_1 < R < 0,7 H_1$ .

### 2.5.10 Tinggi Air Banjir di Hilir Bendung

Perhitungan dilakukan dengan rumus, sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * i^{1/2} \dots\dots\dots(2.31)$$

*(Hidrolika Terapan Aliran Pada Saluran Terbuka & Pipa, Robert J Kodoatie, hal 127)*

$$A = (b + m.h).h$$

$$P = b + 2.h\sqrt{1 + m^2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Perhitungan h dengan coba-coba.

Elevasi muka air di hilir bendung = elevasi dasar hilir + h

### 2.5.11 Tinggi Air Banjir di Atas Mercu

Persamaan tinggi energi di atas mercu ( $H_1$ ) menggunakan rumus debit bendung dengan mercu bulat, yaitu :

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot g \cdot Be \cdot H_1^{3/2} \dots\dots\dots(2.32)$$

*(Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, PU Pengairan, Hal :80)*

di mana :

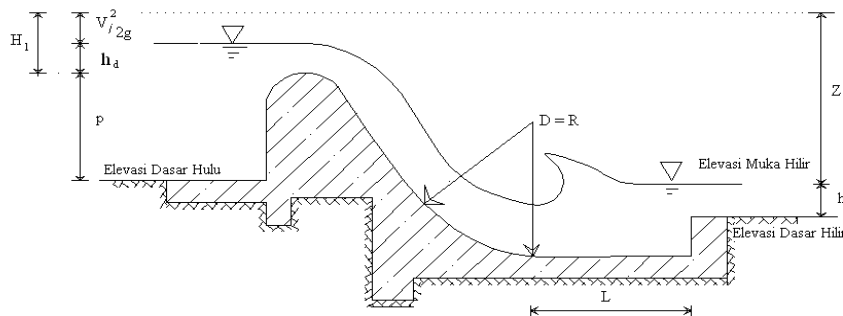
$Q$  = debit ( $m^3/det$ )

$C_d$  = koefisien debit

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/det^2$ )

$Be$  = lebar efektif bendung (m)

$H_1$  = tinggi energi di atas mercu (m)



**Gambar 2.17 Elevasi Air di Hulu dan Hilir Bendung**

### 2.5.12 Kolam Olak

Kolam olak adalah suatu bangunan berupa olak di hilir bendung yang berfungsi untuk meredam energi yang timbul di dalam aliran air superkritis yang melewati pelimpah.

Faktor pemilihan tipe kolam olak :

- Tinggi bendung
- Keadaan geoteknik tanah dasar misalnya jenis batuan, lapisan, kekerasan tekan, diameter butir dsb.
- Jenis angkutan sedimen yang terbawa aliran sungai.
- Keadaan aliran yang terjadi di bangunan peredam energi seperti aliran tidak sempurna/tenggelam, loncatan air lebih rendah atau lebih tinggi.

Tipe kolam olak :

**a. Berdasarkan Bilangan *Froude***, kolam olak dikelompokan sebagai berikut :

1. Untuk  $Fr \leq 1,7$  tidak diperlukan kolam olak. Pada saluran tanah bagian hilir harus dilindungi dari bahaya erosi.
2. Bila  $1,7 < Fr \leq 2,5$  maka kolam olak diperlukan untuk meredam energi secara efektif. Kolam olak dengan ambang ujung mampu bekerja dengan baik.
3. Jika  $2,5 < Fr \leq 4,5$  maka loncatan air tidak terbentuk dan menimbulkan gelombang sampai jarak yang jauh di saluran. Kolam olak yang digunakan untuk menimbulkan turbulensi (olakan) yakni tipe USBR tipe IV.
4. Untuk  $Fr \geq 4,5$  merupakan kolam olak yang paling ekonomis, karena kolam ini pendek. Kolam olak yang sesuai adalah kolam USBR tipe III.

**b. Kolam Olak Tipe Bak Tenggelam**

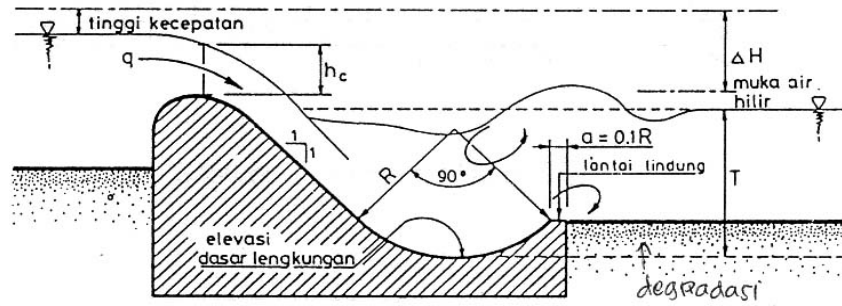
Jika kedalaman konjungsi hilir dari loncat air terlalu tinggi dibanding kedalaman air normal hilir, atau kalau diperkirakan akan terjadi kerusakan pada lantai kolam yang panjang akibat batu-batu besar yang terangkut lewat atas bendung, maka dapat dipakai peredam energi yang relatif pendek tetapi dalam.

Kolam olak tipe bak tenggelam telah digunakan pada bendung-bendung rendah dan untuk bilangan-bilangan *Froude* rendah. Bahan ini diolah oleh Institut Teknik Hidrolika di Bandung untuk menghasilkan serangkaian perencanaan untuk kolam dengan tinggi energi rendah ini.

Rumus :  $h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$  .....(2.33)

di mana :

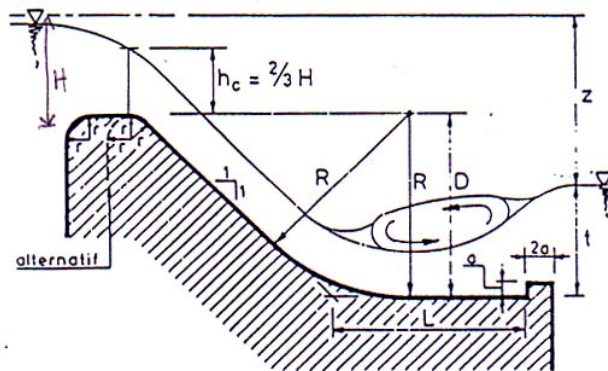
- hc = kedalaman air kritis (m)
- q = debit per lebar satuan (m<sup>3</sup>/dt.m)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/dt)



**Gambar 2.18 Kolam Olak Tipe Bak Tenggelam**  
(UNDIP, Buku Pegangan Kuliah Bangunan Air)

**c. Kolam *Vlughter***

Kolam *vlughter* dikembangkan untuk bangunan terjun di saluran irigasi. Batas-batas yang diberikan untuk  $Z/h_c$  0,5; 2,0; 15,0 dihubungkan dengan bilangan *Froude*. Bilangan *Froude* itu diambil dalam  $Z$  di bawah tinggi energi hulu. Kolam *vlughter* bisa dipakai sampai beda tinggi energi  $Z$  tidak lebih dari 4,50 m.



**Gambar 2.19 Kolam *Vlughter***  
(UNDIP, Buku Pegangan Kuliah Bangunan Air)

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \dots\dots\dots(2.34)$$

Jika  $0,5 < \frac{z}{h_c} \leq 2,0$

$$t = 2,4 hc + 0,4 z$$

$$\text{Jika } 2,0 < \frac{z}{hc} \leq 15,0$$

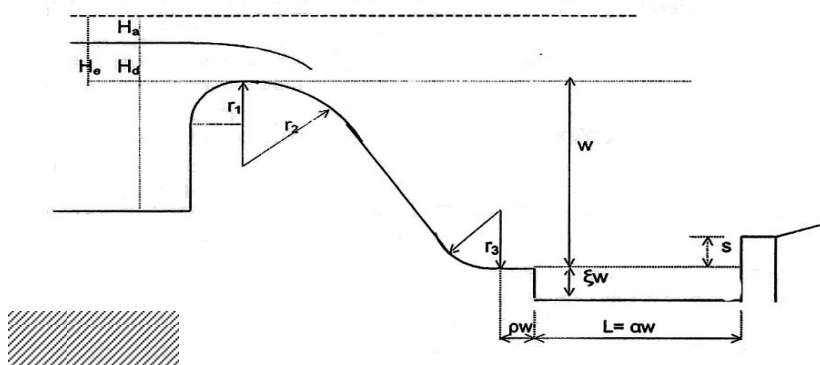
$$t = 3,0 hc + 0,1 z$$

$$a = 0,28 hc \sqrt{\frac{hc}{z}}$$

$$D = R = L \text{ ( ukuran dalam m )}$$

#### d. Kolam *Schoklitsch*

Armin Schoklitsch menemukan kolam olakan yang ukuran-ukurannya tidak tergantung pada tinggi muka air hulu maupun hilir, melainkan tergantung pada debit per satuan lebar.

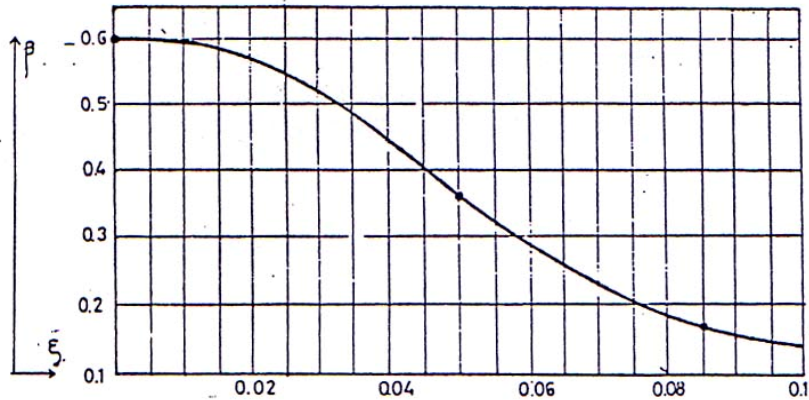


**Gambar 2.20 Kolam *Schoklitsch***  
( UNDIP, Buku Pegangan Kuliah Bangunan Air)

Panjang kolam olakan  $L = ( 0,5-1 ) w$

Tinggi ambang hilir dari lantai  $S = \beta q^{\frac{1}{2}} \left( \frac{w}{g} \right)^{\frac{1}{4}}$  dengan harga minimum 0,1 w.

Untuk faktor  $\beta$  dapat diambil dari gambar grafik di bawah, dan faktor  $\xi$  diambil antara 0,003 dan 0,08. Harga  $\rho$  pada umumnya diambil 0,15.



**Gambar 2.21 Grafik Faktor  $\beta$**   
(UNDIP, Buku Pegangan Kuliah Bangunan Air)

### 2.5.13 Panjang Lantai Muka

Perencanaan panjang lantai muka bendung menggunakan garis kemiringan hidrolik. Garis Gradien Hidrolik ini digambarkan di hilir ke arah hulu dengan titik ujung hilir bendung sebagai permukaan dengan tekanan sebesar nol. Kemiringan garis hidrolik gradien disesuaikan dengan kemiringan yang diijinkan untuk suatu tanah dasar tertentu, yaitu menggunakan *Creep Ratio (Cr)*. Untuk mencari panjang lantai depan hulu yang menentukan adalah beda tinggi energi terbesar di mana terjadi pada saat muka banjir di hulu dan kosong di hilir. Garis Gradien hidrolik akan membentuk sudut dengan bidang horisontal sebesar  $\alpha$ , sehingga akan memotong muka air banjir di hulu. Proyeksi titik perpotongan tersebut ke arah horisontal (lantai hulu bendung) adalah titik ujung dari panjang lantai depan minimum.

$$L_w = \Sigma L_v + \frac{1}{3} \Sigma L_h \dots\dots\dots(2.35)$$

(Perbaikan dan Pengaturan Sungai, Dr.Ir Suyono Sosrodarsono dan Dr.Masateru Tominaga)

di mana :

- $L_w$  = panjang garis rembesan (m)
- $\Sigma L_v$  = panjang creep line vertikal (m)
- $\Sigma L_h$  = panjang creep line horisontal (m)

Faktor Rembesan / *creep ratio* ( $C_w$ ) =  $\Sigma L_w / \Delta H_w$  di mana,  $C_w > C$  (aman).

**Tabel 2.13 Harga-harga Minimum Angka Rembesan Lane ( $C_L$ )**

Jenis Material	$C_L$
Pasir sangat halus / lanau	8.5
Pasir halus	7
Pasir sedang	6
Pasir kasar	5
Kerikil halus	4
Kerikil sedang	3.5
Kerikil kasar termasuk berangkal	3
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2.5
Lempung lunak	3
Lempung sedang	2
Lempung keras	1.8
Lempung sangat keras	1.6

Sumber : *Irigasi dan Bangunan Air, Gunadharma*

**2.5.14 Tebal Lantai Kolam Olak**

Untuk menentukan tebal lantai kolam olak harus ditinjau pada dua kondisi yaitu pada kondisi air normal dan kondisi air banjir.

$$P_x = \left\{ H_x - \left[ \frac{L_x}{L} * \Delta H' \right] \right\} * \gamma_w \dots\dots\dots(2.36)$$

(Standar Perencanaan Irigasi KP-02)

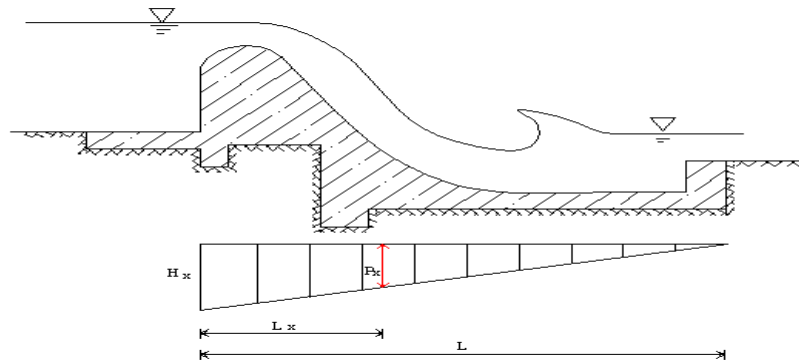
$$t_{min} = \frac{s.(P_x - W_x)}{\gamma_{pas}}$$

di mana :

- $P_x$  = Uplift Pressure ( $T/m^2$ )
- $H_x$  = tinggi muka air di hulu bendung diukur dari titik x (m)
- $L_x$  = panjang *creep line* sampai titik x (m)
- $L$  = panjang *creep line* total (m)
- $\Delta H$  = perbedaan tinggi tekan di hulu dan di hilir bendung (m)
- $\gamma_w$  = berat jenis air ( $1 T/m^3$ )
- $t_{min}$  = tebal minimum lantai kolam (m)
- $s$  = faktor keamanan untuk :
  - 1,5 = untuk kondisi air normal
  - 1,25 = untuk kondisi air banjir

$W_x$  = kedalaman air pada titik X (m)

$\gamma_{\text{beton}}$  = berat jenis beton ( $2,4 \text{ T/m}^3$ )



**Gambar 2.22 Gaya Angkat pada Pondasi Bendung**

**2.6 TINJAUAN GERUSAN DI HILIR BENDUNG**

Tinjauan terhadap gerusan bendung digunakan untuk menentukan tinggi dinding halang (koperan) di ujung hilir bendung. Untuk mengatasi gerusan tersebut dipasang apron yang berupa pasangan batu kosong sebagai selimut lintang bagi tanah asli. Batu yang dipakai untuk apron harus keras, padat, awet dan mempunyai berat jenis  $2,4 \text{ Ton/m}^3$ . untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan metode Lacey.

Rumus :

$$R = 0,47 \left( \frac{Q}{f} \right)^{1/3} \dots\dots\dots(2.37)$$

(Standar Perencanaan Irigasi KP-02, hal 104)

$$f = 1,76 Dm^{1/2}$$

di mana :

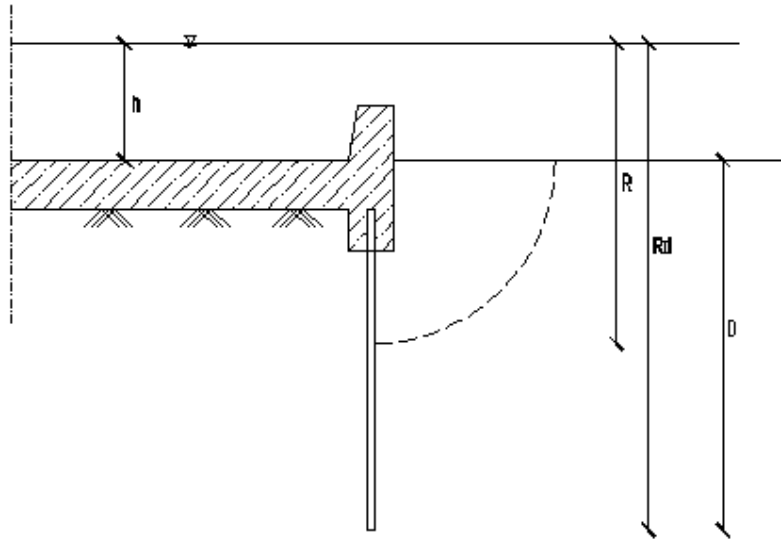
R = kedalaman gerusan di bawah permukaan air banjir (m)

Dm = diameter rata-rata material dasar sungai (mm)

Q = debit yang melimpah di atas mercu ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

f = faktor lumpur Lacey

Menurut Lacey, kedalaman gerusan bersifat empiris, maka dalam penggunaannya dikalikan dengan angka keamanan sebesar 1,5.



**Gambar 2.23 Sketsa Gerusan di Hilir Bendung**

Keterangan :

$R_d$  = tinggi muka air sampai *sheet pile* (m)

$D$  = panjang sheet pile (m)

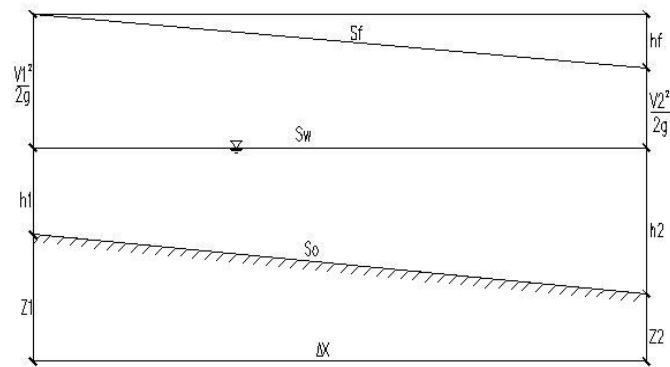
$H$  = tinggi muka air di hilir bendung (m)

$R$  = kedalaman gerusan (m)

## 2.7 TINJAUAN *BACKWATER* DI HULU BENDUNG

Perhitungan *backwater* bertujuan untuk mengetahui peninggian muka air pada bagian hulu akibat pembangunan bendung, sehingga dapat menentukan tinggi tanggul yang harus dibuat. Dengan diketahuinya muka air di hulu bendung maka dapat ditentukan :

- Tinggi tanggul di hulu.
- Panjang tanggul yang harus dibuat (seberapa jauh pengaruh *backwater*).



**Gambar 2.24 EGL – HGL Backwater**

di mana :

- $h_1$  = kedalaman air tanpa bendung.
- $h_2$  = tinggi muka air akibat bendung.
- $S_o$  = kemiringan dasar sungai.
- $S_w$  = kemiringan muka air.
- $S_f$  = kemiringan garis energi.

$$Z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf$$

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - Z_2 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf$$

$$\underbrace{h_1 + \frac{V_1^2}{2g}}_{E_1} + \underbrace{Z_1 - Z_2}_{\Delta x} = \underbrace{h_2 + \frac{V_2^2}{2g}}_{E_2} + hf$$

$$E_1 + S_o \cdot \Delta x = E_2 + S_f \cdot \Delta x$$

$$(S_o \cdot \Delta x) - (S_f \cdot \Delta x) = E_2 - E_1$$

$$\Delta x = \frac{E_1 - E_2}{S_o - S_f}$$

di mana :

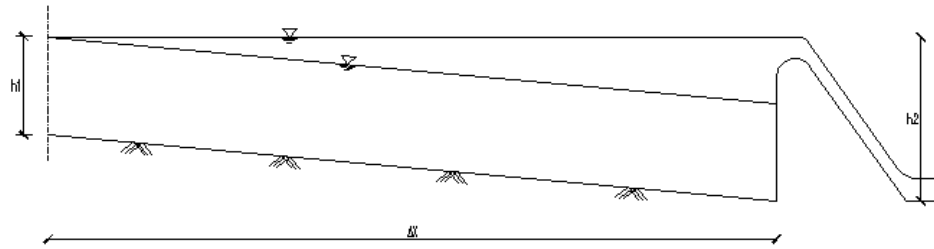
$$S_f = \frac{n^2 \cdot V^2}{2.22 \cdot R^{4/3}}$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

$$A = (b + mh)h$$

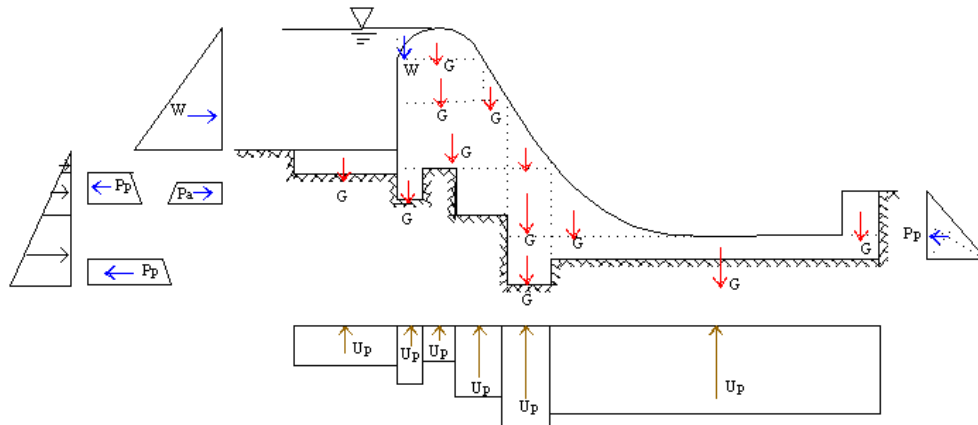
$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$



Gambar 2.25 Sketsa *Backwater* di Hulu Bendung

## 2.8 ANALISIS STRUKTUR BENDUNG



Gambar 2.26 Gaya-gaya Yang Bekerja pada Tubuh Bendung

Keterangan :

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| W : Gaya Hidrostatik          | Up : Gaya Angkat ( <i>Uplift Pressure</i> ) |
| Pa : Tekanan Tanah Aktif      | Pp : Tekanan Tanah Pasif                    |
| G : Gaya Akibat Berat Sendiri |   |

Stabilitas bendung dianalisis pada tiga macam kondisi yaitu pada saat sungai kosong, normal dan pada saat sungai banjir. Tinjauan stabilitas yang diperhitungkan dalam perencanaan suatu bendung meliputi :

## 2.8.1 Analisis Gaya-gaya Vertikal

### 2.8.1.1 Akibat Berat Sendiri Bendung

$$\text{Rumus : } G = V * \gamma \dots\dots\dots(2.38)$$

*(Standar Perencanaan Irigasi KP-02)*

di mana :

$V$  = Volume ( $m^3$ )

$\gamma$  = berat jenis bahan, beton =  $2,4 T/m^3$

### 2.8.1.2 Gaya Angkat (*Uplift Pressure*)

$$\text{Rumus : } P_x = H_x - H \dots\dots\dots(2.39)$$

$$P_x = H_x - \left( L_x * \frac{\Delta H}{L} \right) \text{ (Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma Hal 131)}$$

di mana :

$P_x$  = *Uplift Pressure* (tekanan air) pada titik X ( $T/m^2$ )

$L_x$  = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

$L$  = panjang total jalur rembesan (m)

$\Delta H$  = beda tinggi energi (m)

$H_x$  = tinggi energi di hulu bendung

## 2.8.2 Analisis Gaya-gaya Horisontal

### 2.8.2.1 Gaya Akibat Tekanan Lumpur

$$\text{Rumus: } P_s = \frac{\gamma_s x h^2}{2} \left[ \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right] \dots\dots\dots(2.40)$$

*(Irigasi dan Bangunan Air, Gunadharna, hal 132)*

di mana :

$P_s$  = gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horisontal (kg)

$\theta$  = sudut geser dalam

$\gamma_s$  = berat jenis lumpur ( $kg/m^3$ ) =  $1600 kg/m^3 = 1,6 T/m^3$

$h$  = kedalaman lumpur (m)

**2.8.2.2 Gaya Hidrostatik**

Rumus:  $W_u = c \cdot \gamma_w [h_2 + \frac{1}{2} \zeta (h_1 - h_2)] A \dots \dots \dots (2.41)$

(Irigasi dan Bangunan Air, Gunadharna, hal 131)

di mana:

- c = proposan luas di mana tekanan hidrostatik bekerja (c = 1 untuk semua tipe pondasi)
- $\gamma_w$  = berat jenis air (kg/m<sup>3</sup>) = 1000 kg/m<sup>3</sup> = 1 T/m<sup>3</sup>
- h<sub>2</sub> = kedalaman air hilir (m)
- h<sub>1</sub> = kedalaman air hulu (m)
- $\zeta$  = proporsi tekanan, diberikan pada tabel 2.10 (m)
- A = luas dasar (m<sup>2</sup>)
- W<sub>u</sub> = gaya tekanan ke atas resultante (Ton)

**Tabel 2.14 Harga-harga  $\zeta$**

<b>Tipe Pondasi Batuan</b>	<b>Proporsi Tekanan</b>
Berlapis horisontal	1,00
Sedang, pejal ( <i>massive</i> )	0.67
Baik, pejal	0.50

Sumber : Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma

**2.8.2.3 Gaya Akibat Tekanan Tanah Aktif dan Pasif**

- Tekanan tanah aktif dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma_{sub} * K_a * h^2 \quad K_a = \tan^2(45^\circ - \phi / 2) \dots \dots \dots (2.42)$$

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$= \left[ \gamma_w \frac{Gs + e}{1 + e} \right] - \gamma_w \quad \text{di mana } \gamma_w = 1 \text{ T/m}^3$$

$$= \left[ \gamma_w \frac{Gs - 1}{1 + e} \right]$$

- Tekanan tanah pasif dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Pp = \frac{1}{2} \gamma_{sub} * Kp * h^2 \dots\dots\dots(2.43)$$

$$Kp = \tan^2(45^\circ + \phi / 2)$$

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$= \left[ \gamma_w \frac{Gs + e}{1 + e} \right] - \gamma_w \quad \text{di mana } \gamma_w = 1 \text{ T/m}^3$$

$$= \left[ \gamma_w \frac{Gs - 1}{1 + e} \right]$$

Keterangan :

Pa = tekanan tanah aktif (T/m<sup>2</sup>)

Pp = tekanan tanah pasif (T/m<sup>2</sup>)

φ = sudut geser dalam (°)

g = gravitasi bumi = 9,81 m/detik<sup>2</sup>

h = kedalaman tanah aktif dan pasif (m)

γ<sub>sub</sub> = berat jenis *submerged* / tanah dalam keadaan terendam (T/m<sup>3</sup>)

γ<sub>sat</sub> = berat jenis *saturated* / tanah dalam keadaan jenuh (T/m<sup>3</sup>)

γ<sub>w</sub> = berat jenis air = 1,0 T/m<sup>3</sup>

Gs = *Spesifik Gravity*

e = *Void Ratio*

#### 2.8.2.4 Gaya Gempa

$$\text{Rumus : } a_d = n(a_c xz)^m \dots\dots\dots(2.44)$$

(Standar Perencanaan Irigasi KP-06)

$$E = \frac{a_d}{g}$$

di mana:

a<sub>d</sub> = percepatan gempa rencana (cm/dt<sup>2</sup>)

n, m = koefisien untuk masing-masing jenis tanah

a<sub>c</sub> = percepatan kejut dasar (cm/dt<sup>2</sup>)

$z$  = faktor yang tergantung dari letak geografis (dapat dilihat pada “Pete Zona Seismik untuk Perencanaan Bangunan Air Tahan Gempa” Lampiran 1)

$E$  = koefisien gempa

$G$  = percepatan gravitasi =  $9,81 \text{ m/dt}^2$ .

Dari koefisien gempa di atas, kemudian dicari besarnya gaya gempa dan momen akibat gaya gempa dengan rumus:

Gaya Gempa,  $K = E \times G$

di mana:

$E$  = koefisien gempa

$K$  = gaya gempa

$G$  = berat bangunan (Ton)

Momen :  $\rightarrow M = K \times \text{Jarak (m)}$

Setelah menganalisis gaya-gaya tersebut, kemudian diperiksa stabilitas bendung terhadap guling, geser, pecahnya struktur, erosi bawah tanah (piping) dan daya dukung tanah.

### 2.8.3 Analisis Stabilitas Bendung

#### 2.8.3.1 Terhadap Guling

$$SF = \frac{\sum MT}{\sum MG} > 1.5 \dots\dots\dots(2.45)$$

(Teknik Bendung, Ir.Soedibyo, Hal 105)

di mana :

SF = faktor keamanan

$\Sigma MT$  = jumlah momen tahan (Ton meter)

$\Sigma MG$  = jumlah momen guling (Ton meter)

#### 2.8.3.2 Terhadap Geser

$$SF = f \frac{\sum RV}{\sum RH} > 1.5 \dots\dots\dots(2.46)$$

(Engineering For Dams, Hinds Creager Justin, Hal:297)

di mana :

- SF = faktor keamanan
- $\Sigma RV$  = total gaya vertikal (Ton)
- $\Sigma RH$  = total gaya horisontal (Ton)
- $f$  = koefisien gesekan = ( 0,6-0,75 )

**2.8.3.3 Terhadap Daya Dukung Tanah**

Dari data tanah pada lokasi bendung Slinga, diperoleh :

- $\gamma$  = T/m<sup>3</sup>
- $c$  = kohesi
- $\phi$  = sudut geser dalam
- Df = kedalaman pondasi (m)

Nc, Nq, N<sub>γ</sub> didapat dari grafik Terzaghi

Rumus daya dukung tanah Terzaghi :

$$q_{ult} = c \cdot N_c + \gamma \cdot N_q \cdot D_f + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N \dots\dots\dots(2.47)$$

(Mekanika Tanah Jilid I, Braja M. Das )

$$\bar{\sigma} = \frac{q_{ult}}{SF} \dots\dots\dots(2.48)$$

Kontrol :

$$\sigma_{maks} = \frac{RV}{B} \left( 1 + \frac{6 \cdot e}{B} \right) < \bar{\sigma} \dots\dots\dots(2.49)$$

$$\sigma_{min} = \frac{RV}{B} \left( 1 - \frac{6 \cdot e}{B} \right) > 0 \dots\dots\dots(2.50)$$

(Teknik Bendung, Ir.Soedibyo, Hal : 107 )

di mana :

- SF = faktor keamanan
- RV = gaya vertikal (Ton)
- B = panjang tubuh bendung (m)
- $\sigma$  = tegangan yang timbul (T/m<sup>2</sup>)
- $\frac{\bar{\sigma}}{\sigma}$  = tegangan ijin (T/m<sup>2</sup>)

### 2.8.3.4 Terhadap Erosi Bawah Tanah (Piping)

Keamanan bendung terhadap erosi bawah bendung dihitung dengan rumus :

$$SF = \frac{s(1 + a/s)}{h_s} \dots\dots\dots(2.51)$$

(Standar Perencanaan Irigasi, KP-02, hal : 127)

di mana :

- SF = faktor keamanan
- s = kedalaman tanah (m)
- a = tebal lapisan pelindung (m)
- $h_s$  = tekanan air pada kedalaman s ( $\text{kg/m}^2$ )

Rumus di atas mengasumsikan bahwa berat volume tanah di bawah air dapat diambil 1 ( $\gamma_w = \gamma_s = 1 \text{ T/m}^3$ ). Berat volume bahan lindung di bawah air adalah 1. Faktor keamanan, SF sekurang-kurangnya 2.