

## **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 (Soedibyo, 1993)

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-spesifikasi yang akan menjadi acuan dalam perencanaan pekerjaan konstruksi tersebut. Dalam tinjauan pustaka ini juga dipaparkan secara singkat mengenai analisis hidrologi, dasar-dasar teori perencanaan embung yang akan digunakan dalam perhitungan konstruksi dan bangunan pelengkapannya (Soemarto, 1999).

#### **2.2. Analisis Hidrologi**

Analisis data hidrologi ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik hidrologi daerah pengaliran Embung Karanggayam yang akan digunakan sebagai dasar analisis dalam pekerjaan detail desain.

Analisis hidrologi meliputi :

- a. Analisis curah hujan harian maksimum
  - Curah hujan area
  - Analisis curah hujan rencana
- b. Analisis intensitas curah hujan
- c. Analisis debit banjir rencana
- d. Analisis debit andalan (F. J. Mock)
- e. Analisis sedimen (USLE)
- f. Kebutuhan Air

### 2.2.1. Analisis Curah Hujan Harian Maksimum

#### a. Curah Hujan Area

Curah hujan yang diperlukan untuk acuan dalam perencanaan bangunan air adalah curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu (*point rainfall*) (Soemarto,1999). Curah hujan wilayah ini dapat diperhitungkan dengan beberapa cara, antara lain :

##### – Metode Rata-Rata Aljabar

Curah hujan didapatkan dengan mengambil rata-rata hitung (*arithmetic mean*) dari penakar hujan areal tersebut dibagi dengan jumlah stasiun pengamatan. (Sosrodarsono dan Takeda, 1976).

$$R = 1/n ( R_1 + R_2 + \dots + R_n )$$

dimana,

R = curah hujan daerah (mm)

n = jumlah titik-titik (pos-pos) pengamatan

$R_1, R_2, \dots, R_n$  = curah hujan di tiap titik pengamatan

Cara ini digunakan apabila :

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

##### – Metode Polygon Thiessen

Jika titik-titik pengamatan di dalam daerah tidak tersebar merata, maka cara perhitungan curah hujan rata-rata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan. Curah hujan daerah itu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

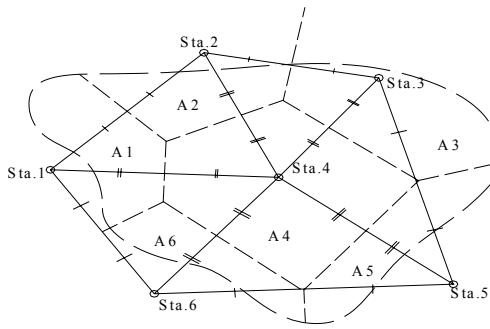
$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (\text{Sosrodarsono, hal : 27, 2003})$$

Dimana :

$\bar{R}$  = 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 ( $\text{Km}^2$ )



Gambar 2.1 Metode Polygon Thiessen

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

#### – Metode Rata – Rata Isohyet

Dengan cara ini, kita dapat menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (*isohyet*). Kemudian luas bagian diantara *isohyet-isohyet* yang berdekatan diukur, dan nilai rata-rata dihitung sebagai nilai rata-rata timbang nilai kontur, kemudian dikalikan dengan masing-masing luasnya. Hasilnya dijumlahkan dan dibagi dengan luas total daerah, maka akan didapat curah hujan areal yang dicari.

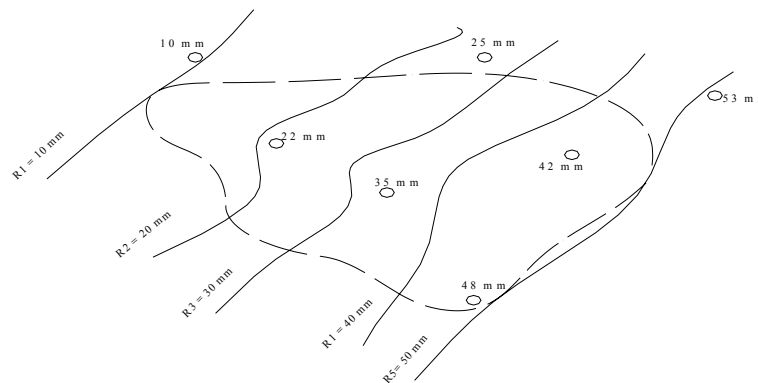
$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} A_1 + \frac{R_3 + R_4}{2} A_2 + \dots + \frac{R_n + R_{n-1}}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

di mana : (Sosrodarsono, hal : 29, 2003)

$\bar{R}$  = 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

Metode ini digunakan dengan ketentuan :

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

#### b. Analisis Curah Hujan Rencana

Ada beberapa metode analisis frekuensi yang dapat digunakan untuk menganalisis besar curah hujan rencana, yaitu :

##### – Metode Gumbel Tipe I

Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode distribusi Gumbel Tipe I digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + \frac{S}{Sn} (Y_T - Y_n) \quad (\text{Soemarto, hal:149,1999})$$

di mana :

$X_T$  = nilai variat yang diharapkan terjadi.

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

$S$  = Standar Deviasi (simpangan baku)

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

$Y_T$  = nilai reduksi variat dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu hubungan antara periode ulang  $T$  dengan  $Y_T$  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)

$S_n$  = deviasi standar dari reduksi variat (*mean of reduced variate*) nilainya tergantung dari jumlah data (n)

#### – 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 :

$$Y = \bar{Y} + k.S \quad (\text{Soemarto,hal:152,1999})$$

di mana :

X = curah hujan

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

#### – 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 :

$$X = \bar{X} + k.S \quad (\text{Petunjuk Perencanaan Irigasi,hal 25,1986})$$

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

### c. Uji Keselarasan Distribusi Data Curah Hujan

Uji keselarasan distribusi dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih, dapat mewakili dari distribusi statistik sample data yang dianalisis (Soemarto,1999).

#### – 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* ( $X^2$ ) dengan nilai *chi square* kritis ( $X^{2cr}$ ).

Rumus :

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(Ef - Of)^2}{Ef} \quad (\text{Sri Harto,hal 180,1981})$$

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 kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

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

#### 2.2.2. 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 :

$$I = \frac{R_{24}}{24} * \left[ \frac{24}{t} \right]^{2/3} \quad (\text{Sosrodarsono, hal : 32, 2003})$$

di mana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

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

t = lamanya curah hujan (jam)

**b. Menurut Sherman**

Rumus yang digunakan :

$$I = \frac{a}{t^b} \quad (\text{Soemarto, hal : 15, 1999})$$

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

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

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 :

$$I = \frac{a}{(t + b)} \quad (\text{Soemarto, hal : 15, 1999})$$

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 :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \quad (\text{Soemarto, hal : 15, 1999})$$

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

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

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

### 2.2.3. Analisis Debit Banjir Rencana

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

#### a. Metode *Der Weduwen*

Rumus dari metode *Weduwen* adalah sebagai berikut :

$$Qt = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \quad (\text{Petunjuk Perencanaan Irigasi, hal 145, 1986})$$

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

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

**b. Metode Haspers**

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

Rumus Haspers :  $Qt = \alpha \cdot \beta \cdot q_n A$  (Loebis,hal:IV-3,1984)

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

• Untuk t < 2 jam

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

• Untuk 2 jam ≤ t ≤ 19 jam

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

• Untuk 19 jam ≤ t ≤ 30 jam

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

dimana t dalam jam dan Rt, R24 (mm)

– Hujan maksimum ( q )

$$q_n = \frac{Rn}{3.6 * t} \text{ di mana t dalam (jam), q (m}^3\text{/km}^2\text{/sec)}$$

di mana :

$Q_t$  = Debit banjir rencana ( $m^3/det$ )

$R_n$  = Curah hujan maksimum (mm/hari)

$q_n$  = Debit persatuan luas ( $m^3/det.Km^2$ )

Adapun langkah-langkah dalam menghitung debit puncak adalah sebagai berikut (Loebis, 1984) :

- Menentukan besarnya curah hujan sehari ( $R_h$  rencana) untuk periode ulang rencana yang dipilih
- Menentukan koefisien runoff untuk daerah aliran sungai
- Menghitung luas daerah pengaliran, panjang sungai dan gradien sungai untuk daerah aliran sungai
- Menghitung nilai waktu konsentrasi
- Menghitung koefisien reduksi, intensitas hujan, debit persatuan luas dan debit rencana.

### c. Metode FSR Jawa dan Sumatra

Rumus – rumus dan Notasi (EM Wilson, hal 202, 1993):

AREA = Luas DPS ( $km^2$ )

PBAR = Hujan maksimum rata – rata tahunan selama 24 jam dicari dari isohyet

APBAR = Hujan terpusat maksimum rata – rata tahunan selama 24 jam

ARF = Faktor reduksi ( $1,152 - 0,1233 \log AREA$ )

MSL = Jarak maksimum dari tempat pengamatan sampai batas terjauh yang diukur 90 % dari panjang sungai (km)

H = Beda tinggi titik pengamatan dengan titik diujung sungai (m)

SIMS = Indeks kemiringan ( $H/MSL$ )

LAKE = Indeks danau yang besarnya antara 0-0,25

MAF = Debit maksimum rata – rata tahunan ( $m^3/detik$ )

GF = Grows faktor ( $m^3/detik$ )

V =  $1,02 - 0,0275 \log (AREA)$

MAF =  $8.10^{-6} \times AREA^V \times APBR^{2,445} \times SIMS^{0,117} \times (1+LAKE)^{-0,85}$

QT = Debit banjir untuk periode ulang T tahun ( $m^3/detik$ )

=  $GT (T, AREA) \times MAF$

#### d. Metode Gamma I

Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I menggunakan persamaan - persamaan sebagai berikut :

– Data - data yang digunakan dalam perhitungan hidrograf satuan sintetik gamma I adalah :

- DAS (A)
- Panjang Sungai Utama (L), dihitung Berdasarkan Sungai Terpanjang
- Beda Tinggi elevasi Sungai (D), diukur dari elevasi di lokasi embung sampai hulu sungai terpanjang
- Panjang Sungai Semua Tingkat (L1)
- Panjang Sungai Tingkat 1 (L2)
- Jumlah Sungai Tingkat 1
- Jumlah Sungai Semua Tingkat
- Jumlah Pertemuan Sungai (JN)
- Kelandaian Sungai (S)

$$S = D / L$$

- Indeks Kerapatan Sungai (D)
- Faktor sumber (SF), yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat 1 dengan jumlah panjang sungai semua tingkat.

$$SF = L2 / L1$$

- Faktor lebar (WF), yaitu perbandingan antara lebar DAS yang diukur dari titik yang berjarak  $\frac{3}{4} L$  ( $W_u$ ) dengan lebar DAS yang diukur dari titik yang berjarak  $\frac{1}{4} L$  dari tempat pengukuran ( $W_i$ )

$$WF = W_u / W_i$$

- 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 (RUA)

$$RUA = A_u / A$$

- Faktor simetri ditetapkan sebagai hasil perkalian antar faktor lebar (WF) dengan luas relative DAS sebelah hulu (RUA)

$$SIM = WF \cdot RUA$$

- Frekuensi sumber (SN), yaitu perbandingan antara jumlah segmen segmen sungai tingkat I dengan jumlah segmen semua tingkat
- Menghitung TR (*time resesion*) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

- Menghitung Debit puncak Qp dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_p = 0,1836 \cdot 35,71^{0,5886} \cdot TR^{-0,4008} \cdot JN^{0,2381}$$

- Menghitung waktu dasar TB (*time base*) menggunakan persamaan :

$$TB = 24,4132 \cdot TR^{0,1457} \cdot S^{-0,0986} \cdot SN^{-0,7344} \cdot RUA^{0,2574}$$

- Menghitung koefisien tampungan k dengan menggunakan persamaan :

$$k = 0,5617 \cdot A^{0,1798} \cdot S^{-0,1446} \cdot SF^{-1,0987} \cdot D^{0,0452}$$

- Membuat unit hidrograf dengan menggunakan persamaan :

$$Q_t = Q_p \cdot e^{-1/k}$$

- Membuat besar aliran dasar QB dengan menggunakan persamaan :

$$Q_B = 0,4751 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,9430}$$

- Menghitung indeks infiltrasi berdasarkan persamaan :

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

- Menghitung distribusi hujan efektif untuk memperoleh hidrograf dengan metode  $\Phi$  indeks , kemudian dapat dihitung dengan hidrograf banjirnya .

$$Re = 1 - \Phi \quad (\text{Sri Harto, 1981})$$

#### e. Metode Rasional

Rumus yang dipakai:

$$Q = 1/3.6 \times f \times r \times A \quad ((\text{Sosrodarsono, hal:37,2003}))$$

$$r = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{T} \right)^{2/3} \text{ mm/jam}$$

$T$  = Waktu konsentrasi =  $L/W$

$$W = 72 \left( \frac{H}{L} \right)^{0.6}$$

Dimana :

$Q$  = Debit maksimum ( $m^3/dtk$ )

$F$  = Koefisien pengaliran

$r$  = Intensitas hujan selama  $t$  jam ( $mm/jam$ )

$L$  = Panjang sungai (  $km$  )

$H$  = Beda tinggi (  $km$  )

$W$  = Kecepatan perambatan banjir (  $km/jam$  )

Koefisien pengaliran  $f$  tergantung dari faktor-faktor daerah pengalirannya, seperti jenis tanah, kemiringan, vegetasi, luas, bentuk daerah pengaliran sungai. Untuk menentukan koefisien pengaliran dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Koefisien pengaliran

Kondisi Daerah Pengaliran	Harga dari $f$
Daerah pegunungan curam	0.75-0.90
Daerah pegunungan tersier	0.70-0.80
Tanah bergelombang dan hutan	0.50-0.75
Tanah dataran yang ditanami	0.45-0.60
Persawahan yang diari	0.70-0.80
Sungai di daerah pegunungan	0.75-0.85
Sungai kecil di dataran	0.45-0.75
Sungai besar yang $\frac{1}{2}$ dari daerah pengalirannya terdiri dari dataran	0.50-0.75

#### 2.2.4. Analisis Debit Andalan

Debit andalan merupakan debit minimal yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk memenuhi kebutuhan air. 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*.

#### **2.2.5. Analisa Sedimen**

##### **a. Tinjauan Umum**

Pendekatan terbaik untuk menghitung laju sedimentasi adalah dengan pengukuran sedimen transpor (*transport sediment*) di lokasi tapak Embung. Namun karena pekerjaan tersebut belum pernah dilakukan, maka estimasi sedimentasi yang terjadi dilakukan dengan perhitungan empiris, yaitu dengan metode USLE.

##### **b. Laju Erosi dan *Sediment Yield* Metode USLE**

Untuk memperkirakan laju sedimentasi pada DPS Sungai Sikopek digunakan metode Wischmeier dan Smith. Metode ini akan menghasilkan perkiraan besarnya erosi gross. Untuk menetapkan besarnya sedimen yang sampai di lokasi Embung, erosi gross akan dikalikan dengan ratio pelepasan sedimen (*sediment delivery ratio*). Metode Wischmeier dan Smith atau yang lebih dikenal dengan metode USLE (*Universal Soil Losses Equation*) telah diteliti lebih lanjut jenis tanah dan kondisi di Indonesia oleh Balai Penelitian Tanah Bogor.

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju sedimentasi adalah sebagai berikut :

- Erosivitas hujan
- Erodibilitas tanah
- Panjang dan kemiringan lereng
- Konservasi tanah dan pengelolaan tanaman
- Laju erosi potensial
- Laju sedimen potensial

##### **• Erosivitas Hujan**

Erosi rembesan sangat tergantung dari sifat hujan yang jatuh dan ketahanan tanah terhadap pukulan butir-butir hujan serta sifat gerakan aliran air di atas permukaan tanah sebagai limpasan permukaan.

Untuk menghitung besarnya indeks erosivitas hujan digunakan rumus empiris sebagai berikut :

$$E I_{30} = E \times I_{30} \times 10^{-2}$$

$$E = 14,374 R^{1,075}$$

$$I_{30} = \frac{R}{77,178 + 1,010 R}$$

Keterangan :

- $E I_{30}$  = Indeks erosivitas hujan ( ton cm/ Ha.jam )
- $E$  = Energi kinetik curah hujan ( ton m/Ha.cm )
- $R$  = Curah hujan bulanan
- $I_{30}$  = Intensitas hujan maksimum selama 30 menit

- **Erodibilitas Tanah**

Erodibilitas merupakan tingkat rembesan suatu tanah yang tererosi akibat curah hujan. Tanah yang mudah tererosi pada saat dipukul oleh butir-butir hujan mempunyai erodibilitas yang tinggi. Erodibilitas dapat dipelajari hanya kalau terjadi erosi. Erodibilitas dari berbagai macam tanah hanya dapat diukur dan dibandingkan pada saat terjadi hujan.

Tanah yang mempunyai erodibilitas tinggi akan tererosi lebih cepat, bila dibandingkan dengan tanah yang mempunyai erodibilitas rendah. Erodibilitas tanah merupakan ukuran kepekaan tanah terhadap erosi, dan hal ini sangat ditentukan oleh sifat tanah itu sendiri, khususnya sifat fisik dan kandungan mineral liatnya.

Faktor kepekaan tanah juga dipengaruhi oleh struktur dan teksturnya, dan semakin kuat bentuk agregasi tanah dan semakin halus butir tanah, maka tanahnya tidak mudah lepas satu sama lain sehingga menjadi lebih tahan terhadap pukulan air hujan.

Erodibilitas tanah dapat dinilai berdasarkan sifat-sifat fisik tanah sebagai berikut:

1. Tekstur tanah yang meliputi :
  - a. fraksi debu ( ukuran 2 - 50  $\mu$  m )
  - b. fraksi pasir sangat halus ( 50 - 100  $\mu$  m )
  - c. fraksi pasir ( 100 - 2000  $\mu$  m )
2. Kadar bahan organik yang dinyatakan dalam %
3. Permeabilitas yang dinyatakan sebagai berikut :
  - a. sangat lambat ( < 0,12 cm/jam )
  - b. lambat ( 0,125 - 0,5 cm/jam )
  - c. agak lambat ( 0,5 - 2,0 cm/jam )
  - d. sedang ( 2,0 - 6,25 cm/jam )
  - e. agak cepat ( 6,25 - 12,25 cm/jam )
  - f. cepat ( > 12,5 cm/jam )
4. Struktur dinyatakan sebagai berikut :
  - a. granular sangat halus : tanah liat berdebu
  - b. granular halus : tanah liat berpasir
  - c. granular sedang : lempung berdebu
  - d. granular kasar : lempung berpasir

• **Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)**

Dari penelitian-penelitian yang telah ada, dapat diketahui bahwa proses erosi dapat terjadi pada lahan dengan kemiringan lebih besar dari 2%. Derajat kemiringan lereng sangat penting, karena kecepatan air dan kemampuan untuk memecah/melepas dan mengangkut partikel-partikel tanah tersebut akan bertambah besar secara eksponensial dari sudut kemiringan lereng.

Secara matematis dapat ditulis :

$$\text{Kehilangan tanah} = c \cdot S^k$$

dengan :

- c = konstanta  
 k = konstanta  
 S = kemiringan lereng (%)

Pada kondisi tanah yang sudah dibajak tetapi tidak ditanami, eksponen K berkisar antara 1,1 sampai dengan 1,2. Menurut Weischmeier dan kawan-kawan dari Universitas Purdue (Hudson 1976) menyatakan bahwa nilai faktor LS dapat dihitung dengan menggunakan rumus

- Untuk kemiringan lereng lebih kecil 20% :

$$LS = L / 100 ( 0,76 + 0,53 + 0,076 S^2 )$$

Dalam sistem metrik rumus tersebut berbentuk :

$$LS = L / 100 ( 1,38 + 0,965 S + 0,138 S^2 )$$

- Untuk kemiringan lereng lebih besar dari 20% :

$$LS = \left( \frac{L}{22,1} \right)^{0,6} \times \left( \frac{S}{9} \right)^{1,4}$$

Keterangan :

L = panjang lereng (m)

S = kemiringan lereng (%)

Nilai faktor LS sama dengan 1 jika panjang lereng 22 meter dan kemiringan lereng 9 %.

Panjang lereng dapat diukur pada peta topografi, tetapi untuk menentukan batas awal dan ujung dari lereng tersebut mengalami kesukaran. Atas dasar pengertian bahwa erosi dapat terjadi dengan adanya *run off (overland flow)* maka panjang lereng dapat diartikan sebagai panjang lereng *overland flow*.

- **Faktor Konservasi Tanah dan Pengelolaan Tanaman**

- a) Faktor Indeks Konservasi Tanah (Faktor P)

Nilai indeks konservasi tanah dapat diperoleh dengan membagi kehilangan tanah dari lahan yang diberi perlakuan pengawetan, terhadap tanah tanpa pengawetan.

b) Faktor indeks pengelolaan tanaman (C), merupakan angka perbandingan antara erosi dari lahan yang ditanami sesuatu jenis tanaman dan pengelolaan tertentu dengan lahan serupa dalam kondisi dibajak tetapi tidak ditanami.

- Faktor Indeks Pengelolaan Tanaman dan Konservasi Tanah (Faktor CP). Jika faktor C dan P tidak bisa dicari tersendiri, maka faktor indeks C dan P digabung menjadi faktor CP.

- **Pendugaan Laju Erosi Potensial ( E-Pot )**

Erosi potensial adalah erosi maksimum yang mungkin terjadi di suatu tempat dengan keadaan permukaan tanah gundul sempurna, sehingga terjadinya proses erosi hanya disebabkan oleh faktor alam ( tanpa adanya keterlibatan manusia maupun faktor penutup permukaan tanah, seperti tumbuhan dan sebagainya), yaitu iklim, khususnya curah hujan, sifat-sifat internal tanah dan keadaan topografi tanah.

Dengan demikian, maka erosi potensial dapat dinyatakan sebagai hasil ganda antara faktor-faktor curah hujan, erodibilitas tanah dan topografi (kemiringan dan panjang lereng). Pendugaan erosi potensial dapat dihitung dengan pendekatan rumus berikut :

$$E - pot = R \times K \times LS \times A$$

dengan :

E-pot = Erosi potensial ( ton/tahun )

R = Indeks erosivitas hujan

K = Erodibilitas tanah

LS = Faktor panjang dan kemiringan lereng

A = Luas daerah aliran sungai (Ha)

- **Pendugaan Laju Erosi Aktual (E-Akt)**

Erosi aktual terjadi karena adanya campur tangan manusia dalam kegiatannya sehari-hari, misalnya pengolahan tanah untuk pertanian dan adanya unsur-unsur penutup tanah, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang dibudidayakan oleh manusia.

Penutupan permukaan tanah gundul dengan tanaman, akan memperkecil terjadinya erosi, sehingga dapat dikatakan bahwa laju erosi aktual selalu lebih kecil dari pada laju erosi potensial. Ini berarti bahwa adanya keterlibatan manusia, misalnya dengan usaha pertanian, akan selalu memperkecil laju erosi potensial. Dapat dikatakan bahwa erosi aktual adalah hasil ganda antara erosi potensial dengan pola penggunaan lahan tertentu.

- **Pendugaan Laju Sedimentasi Potensial**

Sedimentasi potensial adalah proses pengangkutan sedimen hasil dari proses erosi potensial untuk diendapkan di jaringan irigasi dan lahan persawahan atau tempat-tempat tertentu.

Tidak semua sedimen yang dihasilkan erosi aktual menjadi sedimen, dan ini tergantung dari nisbah antara volume sedimen hasil erosi aktual yang mampu mencapai aliran sungai dengan volume sedimen yang bisa diendapkan dari lahan di atasnya ( *SDR = Sediment Delivery Ratio* ). Nilai SDR ini tergantung dari luas DAS, yang erat hubungannya dengan pola penggunaan lahan. Dan dapat dirumuskan dalam suatu hubungan fungsional, sebagai berikut :

$$SDR = \frac{S ( 1 - 0,8683 A^{-0,2018} )}{2 ( S + 50 n )} + 0,08683 A^{-0,2018}$$

dengan :

SDR = Nisbah Pelepasan Sedimen, nilainya  $0 < SDR < 1$

A = Luas DAS ( Ha )

S = Kemiringan lereng rata-rata permukaan DAS (%)

n = Koefisien kekasaran Manning

Pendugaan laju sedimen potensial yang terjadi di suatu DAS dihitung dengan persamaan Weischmeier dan Smith, 1958 sebagai berikut :

$$S\text{-pot} = E\text{-Akt} \times SDR$$

dengan :

SDR = Sedimen Delivery Ratio

S-pot = Sedimentasi potensial

E-Akt = Erosi aktual

**c. Analisis Kebutuhan Air Baku**

Air baku dari embung digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bagi penduduk, kebun, dan hewan ternak di Desa Kalirejo dan Ginandong.

– **Standar Kebutuhan Air**

Menurut Ditjen Cipta Karya (2000) standar kebutuhan air ada 2 (dua) macam yaitu :

- 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.
- Standar kebutuhan air non domestik  
Standar kebutuhan air non domestik adalah kebutuhan air bersih diluar keperluan rumah tangga. Kebutuhan air non domestik antara lain :
  - ◆ Penggunaan komersil dan industri  
Yaitu penggunaan air oleh badan-badan komersil dan industri.
  - ◆ 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)

– **Proyeksi Kebutuhan Air Bersih**

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

• **Angka Pertumbuhan Penduduk**

Angka pertumbuhan penduduk dihitung dengan prosentase memakai rumus :

$$\text{Angka Pertumbuhan (\%)} = \frac{\sum \text{AngkaPertumbuhan(\%)}}{\sum \text{Data}}$$

• **Proyeksi Jumlah Penduduk**

Dari angka pertumbuhan penduduk diatas 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 dimasa mendatang. Ada beberapa metode yang digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk antara lain yaitu:

◆ *Metode Geometrical Increase*

Rumus yang digunakan :

$$P_n = P_o (1 + r)^n$$

dimana :

$P_n$  = Jumlah penduduk pada tahun ke-n

$P_o$  = Jumlah penduduk pada awal tahun

$r$  = Prosentase pertumbuhan geometrical penduduk tiap tahun

$n$  = Periode waktu yang ditinjau

◆ *Metode Arithmetical Increase*

Rumus yang digunakan :

$$P_n = P_o + n.r$$

$$r = \frac{P_o - P_t}{t}$$

dimana :

- $P_n$  = Jumlah penduduk pada tahun ke-n
- $P_o$  = Jumlah penduduk pada awal tahun proyeksi
- $r$  = Angka pertumbuhan penduduk tiap tahun
- $n$  = Periode waktu yang ditinjau
- $t$  = Banyak tahun sebelum tahun analisis

◆ Metode Proyeksi *Least Square*

Rumus yang digunakan

$$Y = a + b.x$$

$$a = \frac{\sum Y_i}{n}$$

$$b = \frac{\sum X_i Y_i}{\sum X_i^2}$$

dimana :

- $Y$  = Jumlah penduduk pada tahun proyeksi ke-n
- $a$  = Jumlah penduduk pada awal tahun
- $b$  = Pertambahan penduduk tiap tahun
- $n$  = Jumlah tahun proyeksi dasar
- $x$  = Jumlah tahun proyeksi mendatang
- $X_i$  = *Variable Coding*
- $Y_i$  = Data jumlah penduduk awal

### 2.3. 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 :

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

Ada tiga unsur pokok dalam perhitungan Neraca Air yaitu:

- a. Kebutuhan Air
- b. Tersedianya Air
- c. Neraca Air

#### 2.4. Penelusuran Banjir (*Flood Routing*)

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. Jadi penelusuran banjir ada dua, untuk mengetahui perubahan *inflow* dan *outflow* pada waduk dan *inflow* pada satu titik dengan suatu titik di tempat lain pada sungai (Soemarto,1999).

Perubahan *inflow* dan *outflow* akibat adanya tampungan. Maka pada suatu waduk terdapat *inflow* banjir (I) akibat adanya banjir dan *outflow* (O) apabila muka air waduk naik, di atas *spillway* (terdapat limpasan) (Soemarto,1999).

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

$I < O$  tampungan waduk turun Elevasi muka waduk turun.

Pada penelusuran banjir berlaku persamaan kontinuitas :

$$I - O = \Delta S$$

$\Delta S$  = Perubahan tampungan air di waduk

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

$$\left[ \frac{I_1 + I_2}{2} \right] * \Delta t - \left[ \frac{O_1 + O_2}{2} \right] * \Delta t = S_2 - S_1$$

##### 2.4.1 Penelusuran Banjir melalui Pengelak

Penelusuran banjir melalui pengelak bertujuan untuk mengetahui dimensi pengelak (lebar dan tinggi pelimpah). Bangunan pengelak terdiri dari *cofferdam* dan *diversion tunnel* berfungsi sebagai jalan air banjir sementara selama pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Tinggi bangunan pengelak dan dimensi saluran/terowongan pengelak direncanakan berdasarkan *routing* debit kala ulang 20 tahun ( $Q_{20}$ ). Selain berfungsi sebagai pengelak maka bangunan ini nantinya akan difungsikan sebagai bangunan pengambilan/*intake*.

Prinsip dari perhitungan ini yaitu menetapkan dimensi pintu sehingga Q inflow dan Q outflow bisa diketahui, kemudian tinggi muka air maksimum dapat diketahui. Apabila tinggi muka air maksimum lebih besar dari setengah tinggi embung maka dimensi pintu diperbesar lagi. Perhitungan ini dihentikan ketika sudah mendapatkan tinggi muka air yang efektif. Pertimbangan keamanan dan ekonomis sangat diperhitungkan dalam analisa *flood routing* ini.

#### 2.4.2 Penelusuran Banjir melalui Pelimpah

Penelusuran banjir melalui pelimpah bertujuan untuk mengetahui dimensi pelimpah (lebar dan tinggi pelimpah). Dan debit banjir yang digunakan dalam perhitungan flood routing metode step by step adalah  $Q_{50}$  tahun. Prinsip dari perhitungan ini adalah dengan menetapkan salah satu parameter hitung apakah B (lebar pelimpah) atau H (tinggi pelimpah). Jika B ditentukan maka variabel H harus di trial sehingga mendapatkan tinggi limpasan air banjir maksimum yang cukup dan efisien. Tinggi spillway didapatkan dari elevasi muka air limpasan maksimum – tinggi jagaan rencana. Perhitungan ini terhenti ketika elevasi muka air limpasan sudah mengalami penurunan dan volume kumulatif mulai berkurang dari volume kumulatif sebelumnya atau  $\Delta V$  negatif yang artinya  $Q \text{ outflow} > Q \text{ inflow}$ .

Prosedur perhitungan Flood routing spillway sebagai berikut ;

- a. Memasukkan data jam ke – (jam)
- b. Selisih waktu ( $\Delta t$ ) dalam detik
- c.  $Q \text{ inflow} = Q_{50} \text{ tahun banjir rencana (m}^3/\text{dt)}$
- d.  $Q \text{ inflow rerata} = (Q \text{ inflow } n + Q \text{ inflow } (n-1))/2 \text{ dalam m}^3/\text{dt}$
- e.  $\text{Volume inflow} = Q \text{ inflow rerata} \times \Delta t \text{ (m}^3/\text{dt)}$
- f. Asumsi muka air hulu dengan cara mentrial dan dimulai dari elevasi spillway coba-coba (m)
- g.  $H = \text{tinggi muka air hulu} - \text{tinggi elevasi spillway}$
- h.  $Q \text{ outflow} = 2/3 C_d \times B \times H^{3/2} \sqrt{2g} \text{ (m}^3/\text{dt)}$
- i.  $Q \text{ outflow rerata} = (Q \text{ output } n + Q \text{ output } (n-1))/2 \text{ dalam m}^3/\text{dt}$
- j.  $\text{Volume outflow} = Q \text{ outflow rerata} \times \Delta t \text{ (m}^3/\text{dt)}$

- k.  $\Delta V$  = selisih volume (Q inflow rerata – Q outflow rerata)
- l. Volume kumulatif yaitu volume tampungan tiap tinggi muka air limpasan yang terjadi.  $V_{kum} = V_n + V_{(n+1)}$  dalam  $m^3$ .
- m. Elevasi muka air limpasan, harus sama dengan elevasi muka air coba-coba.

## 2.5. 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. Selain itu, konstruksi juga harus dicek terhadap stabilitas konstruksi, stabilitas geser, stabilitas guling, stabilitas daya dukung dan stabilitas terhadap erosi bawah tanah (piping). Konstruksi juga harus aman terhadap geseran, penurunan embung, terhadap rembesan baik pada saat embung dalam keadaan kering ( $\gamma_k$ ), penuh air ( $\gamma_{sub}$ ) maupun permukaan air turun tiba-tiba / *rapid drawdown* ( $\gamma_{sat}$ ).

### 2.5.1 Stabilitas Lereng Embung Urugan Menggunakan Metode Irisan Bidang Luncur Bundar.

Menurut Soedibyo (1993) faktor keamanan dari kemungkinan terjadinya longsor dapat diperoleh dengan menggunakan rumus keseimbangan sebagai berikut :

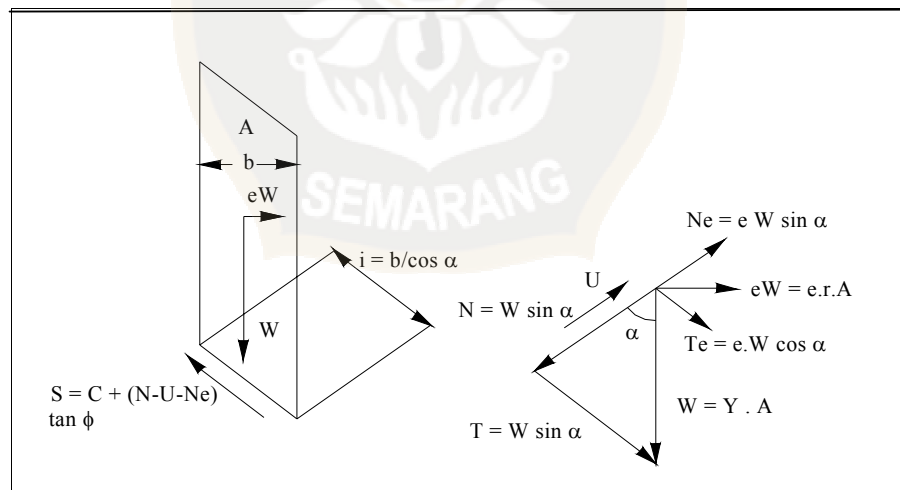
$$F_s = \frac{\sum \{C.l + (N - U - N_e) \tan \phi\}}{\sum (T + T_e)}$$

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

di mana :

- $F_s$  = 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 seismic yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur ( $= e.\gamma.A.\sin \alpha$ )
- Te = komponen tangensial beban seismic 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
- E = intensitas seismis horisontal
- $\gamma$  = berat isi dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur
- A = luas dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur
- $\alpha$  = sudut kemiringan rata-rata dasar setiap irisan bidang luncur
- V = tekanan air pori



Gambar 2.3 Cara menentukan harga-harga N dan T

Prosedur perhitungan metode irisan bidang luncur bundar :

- 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.

- b. Gaya-gaya yang bekerja pada setiap irisan adalah sebagai berikut :
- c. Berat irisan (W), dihitung berdasarkan hasil perkalian antara luas irisan (A) dengan berat isi bahan pembentuk irisan ( $\gamma$ ), jadi  $W=A.\gamma$
- d. 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  $N=W.\cos \alpha$
- e. 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:  $U=U.b/\cos\alpha$
- f. Beban berat komponen tangensial (T) diperoleh dari hasil perkalian antara berat irisan (W) dengan sinus sudut rata-rata tumpuan dasar irisan tersebut jadi  $T=W\sin\alpha$
- g. Kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C) diperoleh dari hasil perkalian antara angka kohesi bahan ( $c'$ ) dengan panjang dasar irisan (b) dibagi lagi dengan  $\cos \alpha$ , jadi  $C=c'.b/\cos\alpha$
- h. Kekuatan tahanan geseran terhadap gejala peluncuran irisan adalah kekuatan tahanan geser yang terjadi pada saat irisan akan meluncur meninggalkan tumpuannya
- i. 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  $S = C + (N-U) \tan \phi$ .
- j. Faktor keamanan dari bidang luncur tersebut adalah perbandingan antara jumlah gaya pendorong dan jumlah gaya penahan yang dirumuskan (Soedibyo, 1993) :

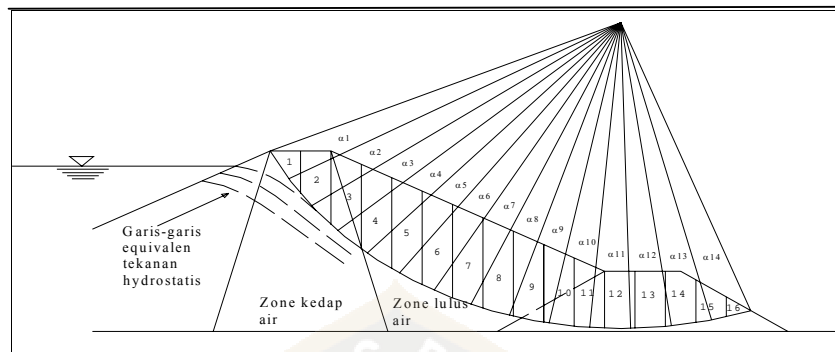
$$F_s = \frac{\sum S}{\sum T}$$

di mana :

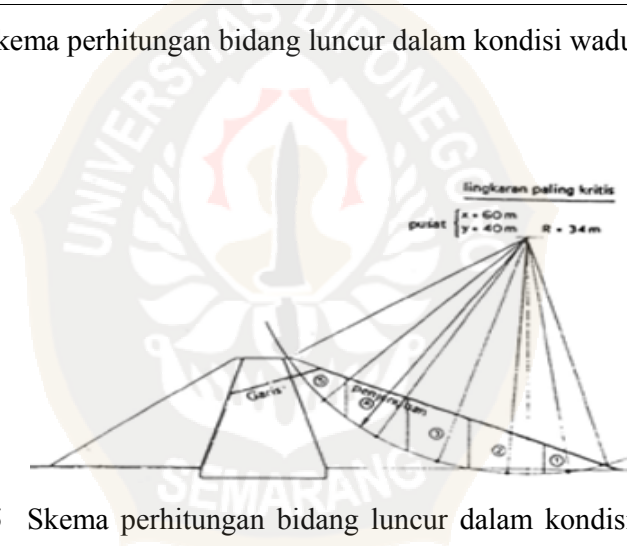
$F_s$  = faktor aman

$\sum S$  = jumlah gaya pendorong

$\sum T$  = jumlah gaya penahan



Gambar 2.4 Skema perhitungan bidang luncur dalam kondisi waduk penuh air

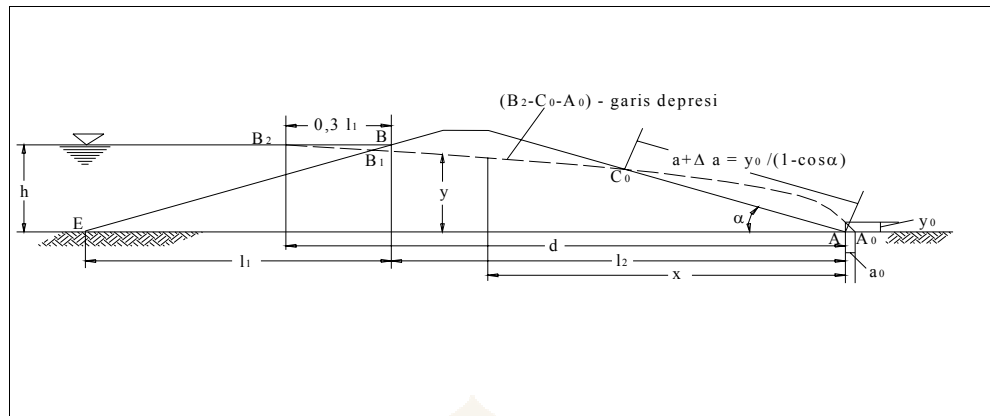


Gambar 2.5 Skema perhitungan bidang luncur dalam kondisi penurunan air waduk tiba-tiba

### 2.5.2 Stabilitas Embung terhadap Rembesan

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 di bawah ini :



Gambar 2.6 Garis depresi pada embung homogen

Untuk perhitungan selanjutnya maka digunakan persamaan-persamaan berikut :

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2y_0}$$

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

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

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2}$$

di mana :

$h$  = jarak vertikal antara titik A dan B

$d$  = jarak horisontal antara titik  $B_2$  dan A

$l_1$  = jarak horisontal antara titik B dan E

$l_2$  = jarak horisontal antara titik B dan A

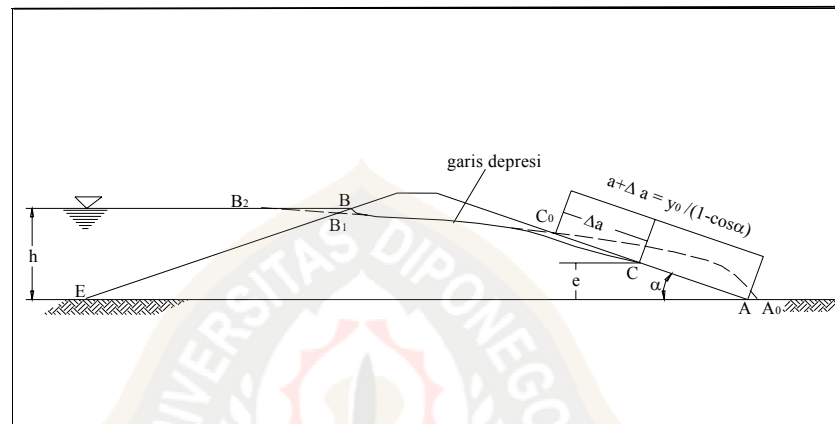
A = ujung tumit hilir embung

B = titik perpotongan permukaan air waduk dan lereng hulu embung.

$A_1$  = titik perpotongan antara parabola bentuk besar garis depresi dengan garis vertikal melalui titik B

$B_2$  = titik yang terletak sejauh  $0,3 l_1$  horisontal kearah hulu dari titik B

Akan tetapi garis parabola bentuk dasar (B<sub>2</sub>-C<sub>0</sub>-A<sub>0</sub>) 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 2.4 sebagai berikut :



Gambar 2.7 Garis depresi pada embung homogen (sesuai dengan garis parabola yang dimodifikasi)

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

$$a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha}$$

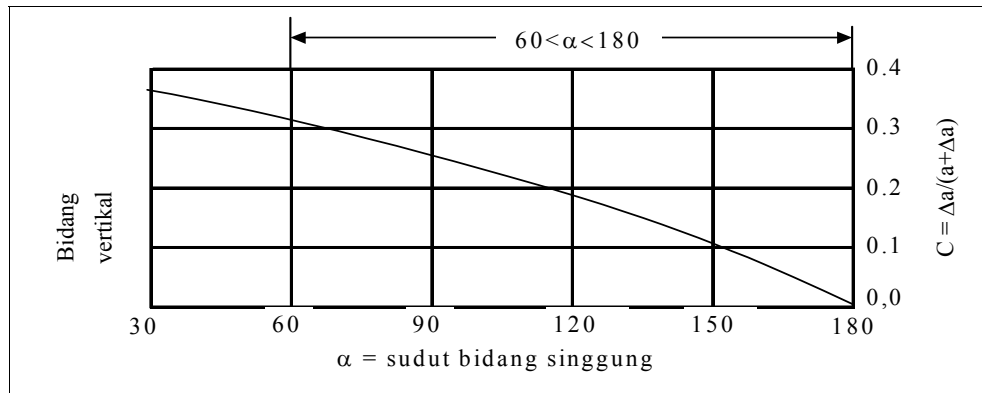
di mana :

$a$  = jarak  $\overline{AC}$

$\Delta a$  = jarak  $\overline{C_0C}$

$\alpha$  = sudut kemiringan lereng hilir embung

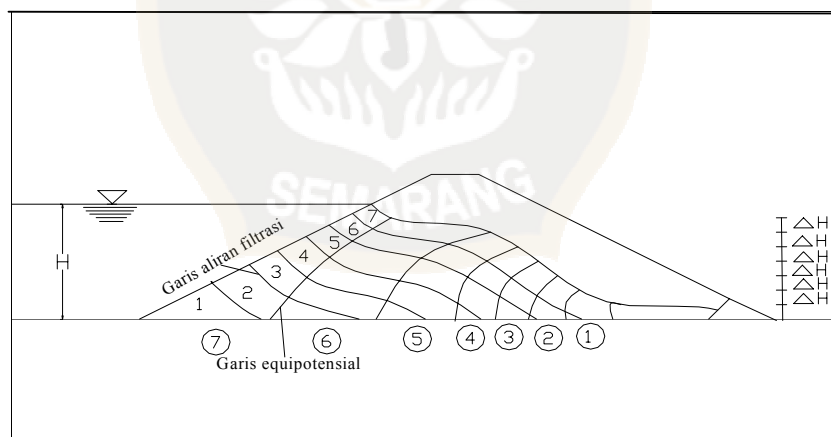
Untuk memperoleh nilai  $a$  dan  $\Delta a$  dapat dicari berdasarkan nilai  $\alpha$  dengan menggunakan grafik sebagai berikut :



Gambar 2.8 Grafik hubungan antara sudut bidang singgung ( $\alpha$ ) dengan  $\frac{\Delta a}{a + \Delta a}$

### - 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 :



Gambar 2.9 Formasi garis depresi

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} \cdot K \cdot H \cdot L$$

di mana :

$Q_f$  = kapasitas aliran filtrasi

$N_f$  = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi

$N_p$  = angka pembagi dari garis equipotensial

$K$  = koefisien filtrasi

- H = tinggi tekan air total  
 L = panjang profil melintang tubuh embung

- **Gejala sufosi (*piping*) dan sembulan (*boiling*)**

Adalah erosi yang cepat sebagai akibat rembesan terpusat berat tubuh dan atau pondasi embung. Air meresap melalui timbunan tanah lapisan kedap air atau pondasi embung. Dengan adanya tekanan air disebelah hulu maka ada kecenderungan terjadinya aliran air melewati pori-pori didalam tanah. Kecepatan aliran keluar ke atas permukaan lereng hilir yang komponen vertikalnya dapat mengakibatkan terjadinya perpindahan butiran-butiran bahan embung, kecepatannya dirumuskan sebagai berikut :

$$C = \sqrt{\frac{w_1 \cdot g}{F \cdot \gamma}}$$

di mana :

- c = kecepatan kritis  
 w<sub>1</sub> = berat butiran bahan dalam air  
 g = gravitasi  
 F = luas permukaan yang menampung aliran filtrasi  
 γ = berat isi air

- **Rembesan Air dalam Tanah**

Semua tanah terdiri dari butir – butir dengan ruangan – ruangan yang disebut pori ( *voids* ) antara butir – butir tersebut. Pori – pori ini selalu berhubungan satu dengan yang lain sehingga air dapat mengalir melalui ruangan pori tersebut. Proses ini disebut rembesan ( *seepage* ).

Tidak ada bendungan urugan yang dapat dianggap kedap air, sehingga jumlah rembesan melalui bendungan dan pondasinya haruslah diperhitungkan. Bila laju turunnya tekanan akibat rembesan melampaui daya tahan suatu partikel tanah terhadap gerakan, maka partikel tanah tersebut akan cenderung untuk bergerak.

Hasilnya adalah erosi bawah tanah, yaitu terbuangnya partikel – partikel kecil dari daerah tepat dihilir ” ujung jari ”(*toe*) bendungan.(Ray K Linsley,

Joseph B Franzini, hal 196, thn 1989). Hal tersebut dapat diketahui dengan pembuatan *flownet* yang terjadi dalam tubuh dan pondasi embung tersebut.

Ketinggian tegangan suatu titik dinyatakan dengan rumus:

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + y$$

dimana :

$h$  = ketinggian tegangan (pressure head )

$u$  = tegangan air

$y$  = ketinggian titik diatas suatu datum tertentu

Menurut (Soedibyo,hal 80,1993) banyaknya air yang merembes dan tegangan air pori dapat dihitung dengan rumus:

$$Q = \frac{k \times h}{N_e} \times N_f$$

dimana :

$Q$  = jumlah air yang merembes

$k$  = koefisien rembesan

$h$  = beda ketinggian air sepanjang flownet

$N_e$  = jumlah equipotensial

$N_f$  = jumlah aliran

Tegangan Pori

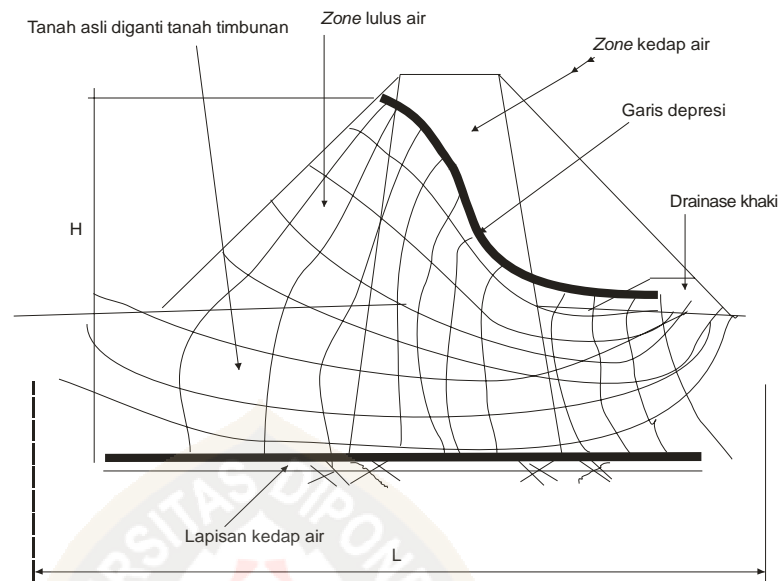
$$u = \gamma_w \left( D + \frac{2}{N_e} \times h \right)$$

dimana :

$u$  = tegangan pori

$h$  = beda tinggi energi hulu dengan hilir

$D$  = jarak muka air terhadap titik yang ditinjau



Gambar 2.10 Rembesan air dibawah embung

