

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisa Hidrologi

Hidrologi adalah bidang pengetahuan yang mempelajari kejadian-kejadia serta penyebab air alamiah di bumi. Faktor hidrologi yang paling berpengaruh pada wilayah huu adalah curah hujan (*presipitasi*). Curah hujan pada suatu daerah merupakan salah satu faktor yang menentukan besarnya debit banjir yang terjadi pada daerah yang menerimnya (Soemarto,1999).

Analisis hidrologi adalah kegiatan melakukan analisa hidroklimatologi dengan cara menganalisa secara kuantitatif yang mengacu pada berbagai metode yang relevan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berlaku. Analisis hidrologi ini dilakukan guna mendapatkan karakteristik hidrologi dan meteorologi Daerah Aliran Sungai. Dalam analisa hidrologi ini akan dihasilkan : kebutuhan tampung kolam, ketersediaan air, dan puncak banjir desain.

2.1.1 Pemilihan Lokasi Stasiun Curah Hujan

Daerah tadah hujan dan kolam embung relatif sangat kecil sehingga perkiraan aliran sudah cukup teliti bila diambil secara bulanan. Apalagi di daerah semi kering pada umumnya aliran dasar tidak ada dan embung tidak dibangun di sungai. Dengan begitu aliran masuk ke embung hanya dapat diperkirakan dari curah hujan. Curah hujan rata-rata bulanan dihitung dari data pos hujan terdekat.

Pos hujan dipilih dengan persyaratan sebagai berikut:

- a. Pilih satu pos hujan yang jaraknya terdekat dengan embung, kurang dari 10km.
- b. Jika tidak ada pos hujan dengan jarak lebih kecil dari 10km, cari pos lain dengan jarak antara 11 km sampai 20 km tetapi jumlahnya harus minimal dua pos hujan.
- c. Bila kedua pos dengan jarak antara 11-20 km tidak dapat ditemukan, cari 3 pos hujan atau lebih di sekeliling lokasi dengan jarak kurang dari 50 km.
- d. Untuk P. Timor yang tersedia peta isohit tahunan, dapat digunakan bila alternatif butir (iii) tidak dapat dilaksanakan.

2.1.2 Uji Konsistensi Hujan

Uji konsistensi berarti menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pengiriman atau saat pengukuran, data tersebut harus betul-betul menggambarkan fenomena hidrologi seperti keadaan sebenarnya dilapangan. Dengan kata lain data hidrologi disebut tidak konsisten apabila terdapat perbedaan antara nilai pengukuran dan nilai sebenarnya (Soewarno, 1995:23).

Uji konsistensi yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums). Cara ini dilakukan dengan cara menghitung nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata (mean) dengan persamaan berikut:

$$S^*o = 0 \quad (2-1)$$

$$S^*k = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad (2-2)$$

dengan:

$$K = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\frac{S^*k}{Dy}$$

$$S^{**k} =$$

$$Dy^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})^2}{n}$$

Pengujian dengan menggunakan data dari stasiun itu sendiri yaitu pengujian dengan kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata dibagi dengan akar kumulatif rerata penyimpangan kuadrat terhadap nilai reratanya, lebih jelas lagi bisa dilihat pada rumus, nilai statistik Q dan R.

Nilai statistik Q dan R

$$Q = \max | S^{**k} | \text{ untuk } 0 \leq k \leq n$$

$$R = \max S^{**k} - \min S^{**k}$$

Dengan:

$$S^*o = \text{simpangan awal}$$

$$S^*k = \text{simpangan mutlak}$$

$$S^{**k} = \text{nilai konsisten data}$$

$$N = \text{jumlah data}$$

$$Dy = \text{simpangan rata-rata}$$

$$Q = \text{nilai statistik Q untuk } 0 \leq k \leq n$$

$$R = \text{nilai statistik (range)}$$

Dengan melihat nilai statistik diatas maka dapat dicari nilai Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n} . Hasil yang didapat dibandingkan dengan hasil Q/\sqrt{n} syarat dan R/\sqrt{n} syarat, jika lebih kecil maka data masih dalam batasan konsisten.

Tabel 2.1 Nilai Q/no.5 dan R/no.5

n	Q/\sqrt{n}			R/\sqrt{n}		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.60
30	1.12	1.24	1.46	1.40	1.50	1.70
40	1.13	1.26	1.50	1.42	1.53	1.74
50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.86
∞	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2.00

Sumber: Harto(2009:41)

2.1.3 Analisis Debit Banjir Rencana

Perhitungan debit banjir rancangan dapat menggunakan data debit banjir atau data hujan dengan ketentuan :

- ❖ Apabila data debit banjir tersedia cukup panjang (> 20 tahun), maka debit banjir rancangan dapat langsung dihitung dengan menggunakan metode analisa probabilitas *Gumbel, Log Pearson atau Log Normal*.
- ❖ Apabila yang tersedia hanya data hujan dan karakteristik DAS, maka debit banjir rancangan dihitung dengan Metode Hidrograf Satuan/Unit Hidrograf.

Karena pada umumnya di Indonesia tidak didapatkan data debit yang kontinyu dan panjang, maka selanjutnya di bawah ini diuraikan metode perhitungan debit banjir rancangan dengan menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintesis. Sehingga dalam hal ini perhitungan debit banjir rancangan terdiri dari 3 tahapan sebagai berikut:

- a. Perhitungan curah hujan rancangan
- b. Perhitungan debit banjir rancangan
- c. Pengujian hasil perhitungan debit banjir rancangan

2.1.4 Curah Hujan Rencana

Data curah hujan dan debit merupakan data yang paling fundamental dalam perencanaan/penelitian pembuatan embung. Ketetapan dalam memilih lokasi dan peralatan baik curah hujan maupun debit merupakan faktor yang menentukan kualitas data yang diperoleh. Analisis data hujan bertujuan untuk mendapatkan besaran curah hujan dan analisis statistik yang diperhitungkan dalam perhitungan debit banjir rencana. Data curah hujan yang dipakai untuk perhitungan dalam debit banjir adalah hujan yang terjadi pada Daerah Aliran Sungai pada waktu yang sama (Sosrodarsono&Takeda, 1993).

Metode yang dapat dipakai dalam menganalisa curah hujan rancangan antara lain distribusi *Gumbel*, *Log Normal*, *Log Pearson III* dan lain-lain.

Untuk menentukan macam analisa frekuensi, perlu dihitung parameter-parameter statistik seperti koefisien C_s , C_v , C_k . Syarat untuk distribusi :

- *E.J Gumbel* : $C_k = 5,4$ dan $C_s = 1,14$
- *Log Normal* : $C_s = 0$ dan $C_k = 3,0$
- *Log Pearson III* : C_s dan C_k tidak ditentukan

Dalam perencanaan ini data hujan yang digunakan direncanakan selama 10 tahun sejak Januari 2006 sampai Desember 2015 (Data terlampir). Sedangkan dari peta DAS dipilih satu stasiun hujan yaitu Stasiun Balige.

2.1.5 Analisa Frekuensi

Dalam analisis Frekuensi data hujan atau data debit guna memperoleh nilai hujan rencana atau debit rencana, dikenal beberapa distribusi probabilitas kontinu yang sering digunakan, yaitu: Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson Type III.

a. Distribusi Probabilitas Gumbel

Jika data hujan yang dipergunakan dalam perhitungan adalah berupa sampel (populasi terbatas), maka perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Gumbel dilakukan dengan rumus-rumus berikut.

$$X_T = \underline{X} + S \times K \quad (2-3)$$

Keterangan rumus:

X_T = hujan rencana atau debit dengan periode ulang T

\underline{X} = nilai rata-rata dari data hujan (X)

S = standar deviasi dari data hujan (X)

K = faktor Frekuensi Gumbel: $K = \frac{Y_t Y_n}{S_n}$

$$Y_t = \text{reduced variate} = -\text{Ln} -\text{Ln} \frac{T-1}{T}$$

$$S_n = \text{reduced standard deviasi}$$

$$Y_n = \text{reduced mean}$$

b. Distribusi Probabilitas Normal

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Normal, jika data yang dipergunakan adalah berupa sampel, dilakukan dengan rumus-rumus berikut:

$$X_T = \underline{X} + K_T S \quad (2-4)$$

Keterangan rumus:

$$X_T = \text{hujan rencana dengan periode ulang } T \text{ tahun}$$

$$\underline{X} = \text{nilai rata-rata dari data hujan (X) mm}$$

$$S = \text{Standar deviasi dari data hujan (X) mm}$$

$$K_T = \text{Faktor Frekuensi, nilainya bergantung dari } T$$

c. Distribusi Probabilitas Log Normal

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Log Normal, jika data yang dipergunakan adalah berupa sampel, dilakukan dengan rumus-rumus berikut;

$$\text{Log } X_T = \underline{\text{Log } X} + K_T \times S \log X \quad (2-5)$$

Keterangan rumus:

$$\text{Log } X_T = \text{nilai logaritmis hujan rencana dengan periode ulang } T$$

$$\underline{\text{Log } X} = \text{nilai rata-rata dari log } X = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n}$$

$$S \log X = \text{deviasi standar dari log } X$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } X)^2}{n-1}^{0,5}$$

$$K_T = \text{faktor Frekuensi, nilainya bergantung dari } T$$

d. Distribusi Probabilitas Log Pearson Type III

Jika data hujan yang dipergunakan dalam perhitungan adalah berupa sampel (populasi terbatas), maka perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Gumbel dilakukan dengan rumus-rumus berikut.

Tahapan untuk menghitung hujan rancangan maksimum dengan metode *Log Pearson III* adalah sebagai berikut :

- Hujan harian maksimum diubah dalam bentuk logaritma.
- Menghitung harga logaritma rata-rata dengan rumus :

$$\log x = \frac{\sum \log x_i}{n} \quad (2-6)$$

- Menghitung harga simpangan baku dengan rumus :

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum(\text{Log}x_i - \text{Log}x)^2}{n-1}} \quad (2-7)$$

- Menghitung harga koefisien kemiringan dengan rumus :

$$C_s = \frac{n\sum(\text{Log}x_i - \text{Log}x)^3}{(n-1)(n-2)S_i^3} \quad (2-8)$$

- Menghitung logaritma hujan rancangan dengan kala ulang tertentu dengan rumus :

$$\text{Log } R_t = \log x + G \cdot S_i \quad (2-9)$$

- Menghitung antilog R_t untuk untuk mendapatkan curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu, atau dengan membaca grafik pengeplotan R_t lawan peluang di kertas logaritma.

2.1.6 Uji Kesesuaian Distribusi

Pemeriksaan uji kesesuaian distribusi bertujuan untuk mengetahui kesesuaian data yang tersedia dengan distribusi yang dipakai. Uji yang dipakai ada dua macam yaitu :

2.1.6.1 Uji Smirnov – Kolmogorov

Pengujian distribusi probabilitas dengan Metode Smirnov-Kolmogorof dilakukan dengan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Urutkan data (X_i) dari besar ke kecil atau sebaliknya.
2. Tentukan peluang empiris masing-masing data yang sudah diurut tersebut $P(X_i)$ dengan rumus tertentu, rumus Weibull misalnya.

$$P(X_i) = \frac{n+1}{i} \quad (2-10)$$

3. Tentukan peluang teoritis masing-masing data yang sudah diurut tersebut $P'(X_i)$ berdasarkan persamaan distribusi probabilitas yang dipilih (Gumbel, Normal, dan sebagainya).
4. Hitung selisih (ΔP_i) antara peluang empiris dan teoritis untuk setiap data yang sudah diurut:

$$\Delta P_i = P(X_i) - P'(X_i) \quad (2-11)$$

5. Tentukan apakah $\Delta P_i < \Delta P$ kritis, jika "tidak" artinya Distribusi Probabilitas yang dipilih tidak dapat diterima, demikian sebaliknya.

2.1.6.2 Uji Chi Square

Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan Metode Uji Chi-Kuadrat adalah sebagai berikut:

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \quad (2-12)$$

dengan:

- X^2 = Parameter Chi-Kuadrat terhitung.
 E_f = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya.
 O_f = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama.
 n = Jumlah sub kelompok

Derajat nyata atau derajat kepercayaan (α) tertentu yang sering diambil adalah 5%.

Derajat kebebasan (D_k) dihitung dengan rumus:

$$D_k = K - (p + 1)$$

$$K = 1 + 3,3 \log n \quad (2-13)$$

dengan:

- D_k = Derajat kebebasan
 P = Banyaknya parameter, untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2.
 K = Jumlah kelas distribusi.
 n = Banyaknya data

Selanjutnya distribusi probabilitas yang dipakai untuk menentukan curah hujan rencana adalah distribusi probabilitas yang mempunyai simpangan maksimum terkecil dan lebih kecil dari simpangan kritis, atau dirumuskan sebagai berikut:

$$X^2 < X^2_{cr} \quad (2-14)$$

Ket: X^2 = parameter Chi-Kuadrat terhitung

X_{cr} = parameter Chi-Kuadrat Kritis

Prosedur perhitungan dengan menggunakan dengan Metode Uji Chi-Kuadrat adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data dari besar ke kecil atau sebaliknya.
2. Menghitung jumlah kelas.
3. Menghitung derajat kebebasan (D_k) dan X^2_{cr} .
4. Menghitung kelas distribusi.
5. Menghitung interval kelas.
6. Perhitungan nilai X^2 .
7. Bandingkan nilai X^2 terhadap X^2_{cr} .

2.1.7 Distribusi Hujan Jam-jaman Metode PSA-007

Distribusi hujan jam-jaman dihitung berdasarkan PSA-007 (Bentuk Genta) , dimana hujan tertinggi ditempatkan ditengah, hujan tertinggi kedua diletakkan disebelah kiri, hujan tertinggi ketiga disebelah kanan, dan begitu seterusnya.

Berdasarkan hasil pengamatan di indonesia, hujan terpusat berkisar antara 5-6 jam, oleh karena itu hujan dengan durasi 6 jam dianggap mewakili hujan maksimum yang terjadi selama 24 jam, intensitas hujan dengan durasi 6 jam yang direkomendasikan oleh PSA-007 dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Intensitas Hujan dengan Durasi 6 jam yang disarankan oleh PSA-007

Kala Ualng	Durasi Hujan (%)										
	1	2	3	4	5	6	8	12	16	20	24
2	49.8	60.2	67.2	71.2	75.2	79.2	82.1	88	92.0	96.0	100
5	48	59	66	70.0	74.0	78	81.3	88	92.0	96.0	100
10	45	57	64	68.0	72.0	76	80.0	88	92.0	96.0	100
25	43	55	63	67.0	71.0	75	79.3	88	92.0	96.0	100
50	42	53	61	65.0	69.0	73	78.0	88	92.0	96.0	100
100	41	52	60	64.0	68.0	72	77.3	88	92.0	96.0	100

Sumber : Kementrian Pekerjaan Umum, 1999

2.1.8 Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah perbandingan antara limpasan air hujan dengan total hujan penyebab limpasan. Pada studi ini, koefisien pengaliran ditetapkan berdasarkan kondisi tata guna lahan. Sehingga untuk menghitung besarnya koefisien pengaliran rata-rata digunakan rumus :

$$C = CP + Ct + Co + Cs + Cc \quad (2-15)$$

dengan :

Cp = Komponen C yang disebabkan oleh intensitas hujan yang bervariasi.

Ct = Komponen C yang disebabkan oleh keadaan topografi.

Co = Komponen C yang disebabkan oleh tampungan permukaan.

Cs = Komponen C yang disebabkan infiltrasi.

Cc = Komponen C yang disebabkan oleh penutup lahan.

(Sumber :Pedoman Kriteria Design Embung Kecil untuk Daerah Semi Kering di Indonesia,1994, Design Pengairan, Dep. PU.)

Tabel 2.3. Harga Komponen C oleh Faktor Intensitas Hujan

Intensitas Hujan (mm/jam)	Cp
< 25	0.05
25- 50	0.15
50 -75	0.25
> 75	0.30

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:4.23)

Tabel 2.4. Harga Komponen C oleh Faktor Topografi

Keadaan topografi	Kemiringan m/km	Ct
Curam dan tidak rata	200	0.10
Berbukit-bukit	100-200	0.05
Landai	50-100	0.00
Hampir datar	0-50	0.00

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:4.24)

Tabel 2.5. Harga Komponen C oleh Faktor Tampungan Permukaan

Tampungan Permukaan	Cp
1. Daerah pengaliran yang curam, sedikit despresi permukaan	0.10
2. Daerah pengaliran yang sempit dengan sistem teratur	0.05
3. Tampungan dan aliran permukaan yang berarti; terdapat kolam	0.05
4. Sungai berkelok-kelok dengan usaha pelestarian lahan	0.00

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:4.24)

Tabel 2.6. Harga Komponen C oleh Faktor Infiltrasi

Kemampuan Infiltrasi Tanah	K (cm/dt)	D.1.Cs
Infiltrasi besar (tidak terdapat penutup lahan)	$< 10^{-5}$	0.25
Infiltrasi lambat (lempung)	$10^{-5} - 10^{-6}$	0.20
Infiltrasi sedang (loam)	$10^{-3} - 10^{-4}$	0.10
Infiltrasi cepat (pasir tebal, tanah beragregat baik)	$> 10^{-3}$	0.05

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:4.24)

Tabel 2.7. Harga Komponen C oleh Faktor Penutup Lahan

Keadaan topografi	Cp
1. Tidak terdapat tanaman yang efektif	0.25
2. Terdapat padang rumput yang baik sebesar 10%	0.20
3. Terdapat padang rumput yang baik sebesar 50%, ditanami atau banyak pepohonan	0.10
4. Terdapat padang rumput yang baik sebesar 90%, hutan	0.05

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:4.24)

2.1.9 Debit Banjir Rancangan

Dalam merencanakan suatu bangunan air, diperlukan perkiraan besarnya banjir yang mungkin terjadi pada lokasi tersebut. Untuk itu diperlukan suatu periode pengamatan debit banjir yang cukup, agar estimasi yang dilakukan akan mendekati keadaan yang sebenarnya. Dalam perencanaan embung, karena tidak tersedianya pengamatan debit banjir dilokasi embung, maka perkiraan debit banjir rancangan dianalisa berdasarkan data curah hujan yang ada.

2.1.9.1 Hidrograf Satuan Sintetik metode Nakayasu

Untuk menentukan hidrograf satuan daerah pengaliran sungai yang tidak terpasang stasiun AWLR (*Automatic Water Level Recorder*), dapat digunakan hidrograf sintetik “*Nakayasu*” (buku hidrologi untuk pengairan).

Parameter yang memengaruhi unit hidrograf adalah:

1. Tenggang waktu dari permukaan hujan sampai puncak hidrograf (*time to peak magnitude*).
2. Tenggang waktu dari titik berat sampai titik berat hidrograf (*time lag*).
3. Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*).
4. Luas daerah pengaliran.
5. Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of longest channel*).
6. Koefisien pengaliran (*run off coefficient*).

Nakayasu dari Jepang telah menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai di Jepang. Ia membuat rumusan hidrograf satuan sintetik dari hasil penyelidikannya tersebut.

Rumus dari hidrograf satuan Nakayasu adalah:

$$Q_p = \frac{CA \cdot Ro}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad (2 - 16)$$

- Dengan :
- Q_p = debit puncak banjir (m^3/dt)
 - R_o = hujan satuan (mm)
 - T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
 - $T_{0,3}$ = waktu yang di perlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)
 - CA = luas daerah pengaliran sampai outlet (km^2)

Untuk menentukan T_p dan $T_{0,3}$ digunakan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_p &= t_g + 0,8 t_r \\ T_{0,3} &= \alpha t_g \\ T_r &= 0,5 t_g \text{ sampai } t_g \end{aligned}$$

t_g adalah time lag yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak banjir (jam). t_g dihitung dengan ketentuan sebagai berikut :

- sungai dengan panjang alur $L > 15$ km : $t_g = 0,4 + 0,058 L$
- sungai dengan panjang alur $L < 15$ km : $t_g = 0,21 L^{0,7}$

Perhitungan $T_{0,3}$ menggunakan ketentuan:

- $\alpha = 2$ pada daerah pengaliran biasa
- $\alpha = 1,5$ pada bagian naik hidrograf lambat, dan turun cepat
- $\alpha = 3$ pada bagian naik hidrograf cepat, dan turun lambat

❖ Pada waktu naik : $0 < t < T_p$

$$Q_a = (t/T_p)^{2,4} \quad (2 - 17)$$

dimana Q_a adalah limpasan sebelum mencapai debit puncak (m^3/dt)

❖ Pada kurva turun (*decreasing limb*)

a. selang nilai : $0 \leq t \leq (T_p + T_{0,3})$

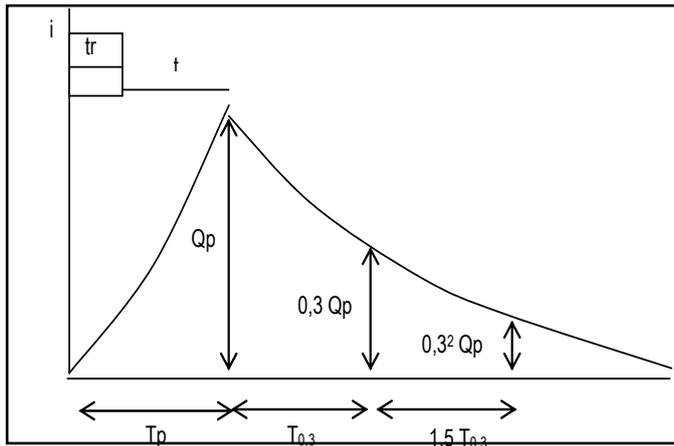
$$Q_{d1} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}}} \quad (2 - 18)$$

b. selang nilai : $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q_{d2} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}}} \quad (2 - 19)$$

c. selang nilai : $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

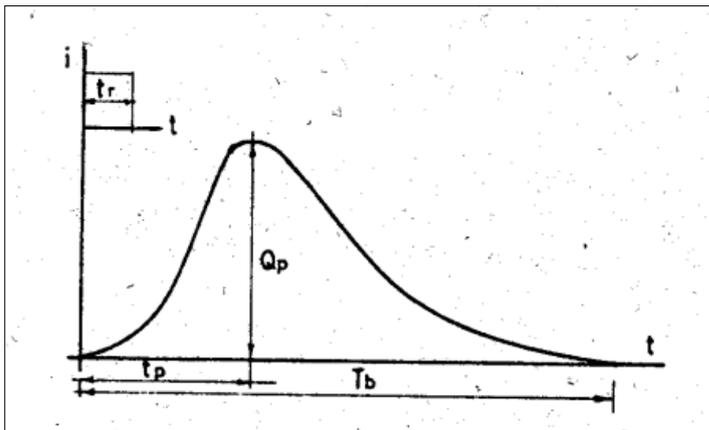
$$Q_{d3} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+1,5T_{0,3})}{2T_{0,3}}} \quad (2 - 20)$$



Gambar 2.1 Hidrograf Satuan Sintesis Metode Nakayasu
Sumber : Soemarto (1987 : 168)

2.1.9.2 Hidrograf Satuan Sintetik metode Snyder

Hidrograf satuan snyder ditentukan secara cukup baik dengan tinggi $d = 1$ cm, dan dengan ketiga unsur yang lain, yaitu Q_p ($m^3/detik$), T_b serta t_r (jam).



Gambar 2.2 Hidrograf Satuan Sintesis Metode Snyder
Sumber : Soemarto (1987 : 165)

Unsur-unsur hidrograf tersebut dihubungkan dengan:

- A = luas daerah pengaliran (km^2)
- L = panjang aliran utama (km)
- L_c = jarak antara titik berat daerah pengaliran dengan pelepasan (outlet) yang diukur sepanjang aliran utama

Dengan unsur-unsur tersebut diatas SNYDER membuat rumus-rumusya seperti berikut:

$$t_p = C_t (L L_c)^{0.3} \quad (2-21)$$

$$t_r = \frac{t_p}{5,5} \quad (2-22)$$

$$Q_p = 2,78 \frac{C_p A}{t_p} \quad (2-23)$$

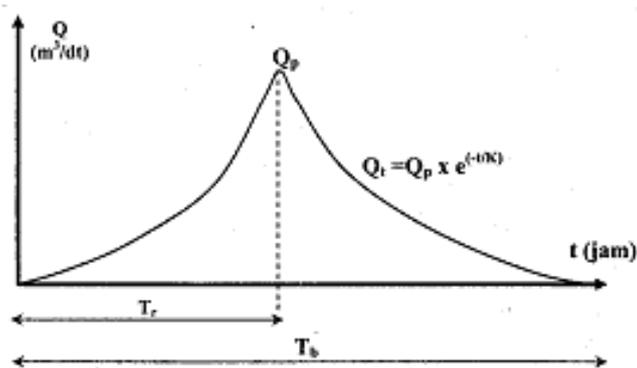
$$T_b = 72 + 3 t_p \quad (2-24)$$

Koefisien-koefisien C_t dan C_p harus ditentukan secara empiris, karena besarnya berubah-ubah antara daerah yang satu dengan daerah yang lain. Besarnya $C_t = 0,75 - 3,00$, sedangkan besarnya $C_p = 0,90 - 1,40$.

2.1.9.3 Hidrograf Satuan Sintetik metode Gama 1

HSS Gama 1 diteliti dan dikembangkan berdasarkan perilaku 30 DAS di Pulau Jawa oleh Sri Harto. Bagian-bagian dari HSS Gama 1 adalah bagian naik, puncak, dan bagian turun.

Unsur-unsur HSS Gama 1 meliputi: waktu puncak (T_r), debit puncak (Q_p), dan Waktu dasar (T_b).



Gambar 2.3 Bagian-bagian HSS Gama 1

Sumber : I Made K (2011 : 141)

Parameter DAS yang diperlukan dalam perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis Cama 1 adalah sebagai berikut:

1. Luas DAS (A).
2. Panjang alur sungai utama (L).
3. Jarak antara titik berat DAS dengan outlet yang diukur disepanjang aliran utama (L_c).
4. Kemiringan memanjang dasar sungai (S).
5. Kerapatan jaringan drainase (D), yaitu perbandingan antara panjang total aliran sungai (jumlah panjang sungai semua tingkat) dengan luas DAS.
6. Faktor sumber (SF), yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat 1 dengan jumlah panjang sungai semua tingkat.

7. Frekuensi sumber (SN), yaitu perbandingan jumlah pangsa sungai tingkat 1 dengan jumlah pangsa sungai semua tingkat.
8. Faktor lebar (WF), yaitu perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik sungai yang berjarak 0,751 dari titik kontrol (WU) dan lebar DAS yang diukur di titik sungai yang berjarak 0,251 dari titik kontrol atau outlet (WL).
9. RUA, adalah perbandingan antara AU dan A.

AU = luas DAS disebelah hulu garis yang ditarik tegak lurus terhadap garis hubung antara titik kontrol (outlet) dengan titik di sungai yang terdekat dengan titik berat DAS

A = luas total DAS

10. Faktor simetri (SIM)

$$SIM = WF \times RU \quad (2-25)$$

- SIM > 50, artinya DAS melebar di hulu dan menyempit di hilir.

- SIM < 50, artinya DAS menyempit di hulu dan melebar di hilir

Rumus-rumus yang dipergunakan dalam menurunkan HSS Gama 1 adalah sebagai berikut:

$$1. T_r = 0,43 \times \frac{L}{100 \times SF}^3 + 1,0665 \times SIM = 1,2775 \quad (2-26)$$

$$2. T_b = 27,4132 \times T_r^{0,1457} \times S^{-0,0986} \times SN^{0,7344} \times RUA^{0,2574} \quad (2-27)$$

$$3. Q_p = 0,1836 \times A^{0,5886} \times T_r^{-0,4008} \times JN^{0,2381} \quad (2-28)$$

$$4. K = 0,561 \times A^{0,1793} \times S^{-0,1446} \times SF^{-1,0897} \times D^{0,0452} \quad (2-29)$$

$$5. Q_t = Q_p \times e^{(-t/K)} \quad (2-30)$$

Keterangan tambahan rumus:

- T_r = waktu puncak (jam)
- T_b = waktu dasar (jam)
- Q_p = debit puncak hidrograf (m³/detik)
- Q_t = debit pada bagian turun hidrograf (m³/detik)
- K = tampungan (jam)
- JN = jumlah pertemuan sungai

- Input data DAS yang dibutuhkan :

- Luas DAS (A).
- Luas DAS hulu (AU).
- Panjang aliran utama (L).
- Lebar DAS di titik 0,25 L dari outlet (WL).

- Lebar DAS di titik 0,75 L dari outlet (WU).
- Kemiringan memanjang dasar sungai (S).
- Panjang sungai semua tingkat (LN).
- Panjang sungai semua tingkat 1 (L1).
- Jumlah pertemuan sungai (JN).
- Pangsa sungai tingkat 1 (P1).
- Pangsa sungai semua tingkat (PN).

2.2 Ketersediaan Aliran Sungai

2.2.1 Metode F.J Mock

Pada dasarnya pendekatan dengan metode ini, mempertimbangkan faktor curah hujan, evapotranspirasi, keseimbangan air di permukaan tanah dan kandungan air tanah.

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.

Adapun prosedur perhitungan metode Mock sebagai berikut:

a. Hujan

Nilai hujan 10 harian (P) dan jumlah hari hujan didapat dari pencatat data hujan harian (mm) dan jumlah hari hujan pada bulan yang bersangkutan.

b. Evapotranspirasi Terbatas

- Curah hujan bulanan (P) dalam mm dan jumlah hari hujan (n) yang terjadi pada bulan yang bersangkutan.
- Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah serta frekuensi curah hujan

$$E = E_p \times \frac{d}{30} \times m \quad (2-31)$$

dengan:

E = Perbedaan antara evapotranspirasi potensial dengan evapotranspirasi Terbatas

E_p = Evapotranspirasi potensial

d = Jumlah hari kering atau tanpa hujan dalam 1 bulan

m = Prosentase lahan yang tak tertutup vegetasi, ditaksir dari peta tata guna tanah

- 0 % untuk lahan dengan hutan lebat
- 0 % pada akhir musim hujan, dan bertambah 10 % setiap bulan kering untuk lahan dengan hutan sekunder
- 10 - 40 % untuk lahan yang tererosi
- 30 - 50 % untuk lahan pertanian yang diolah (sawah/ladang)

Berdasarkan frekuensi curah hujan di Indonesia dan sifat infiltrasi dan penguapan dari tanah permukaan di dapat hubungan:

$$d = 1,5 (18 - n) \text{ atau } d = 27 - 1,5n \quad (2-32)$$

n = jumlah hari hujan dalam sebulan

Sehingga dari kedua persamaan (2-18) dan (2-19) diperoleh:

$$E_p = \left(\frac{m}{20} \right) \times (18 - h) \quad (2-33)$$

$$E_t = ET_0 - E$$

E_t = evapotranspirasi terbatas (mm)

Soil surplus adalah volume air yang masuk ke permukaan tanah.

Soil surplus = $(P - E_t) - \text{Soil storage}$ dan = 0 jika defisit $(P - E_t) >$ dari soil storage. Initial storage adalah volume air pada saat permulaan mulainya. Ditaksir sesuai dengan keadaan musim, seandainya musim hujan bisa sama dengan soil moisture capacity dan lebih kecil dari pada musim kemarau.

c. Keseimbangan Air di permukaan Tanah

Curah hujan yang mencapai permukaan

$$ds = P - E_t \quad (2-34)$$

Harga positif bila $P > E_t$, air masuk kedalam tanah

Harga negatif bila $P < E_t$, sebagian air tanah akan keluar, terjadi defisit. Perubahan kandungan air tanah, soil storage (ds) = selisih antara Soil Moisture Capacity bulan sekarang dengan bulan sebelumnya. Soil moisture capacity ini ditaksir berdasarkan kondisi porositas lapisan tanah atas dari catchment area. Biasanya ditaksir 60 s/d 250 mm, yaitu kapasitas kandungan air dalam tanah per M². Jika porositas tanah lapisan atas tersebut makin besar, maka, soil moisture capacity akan makin besar pula

d. Debit dan Simpanan Air Tanah

Koefisien infiltrasi (I) ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran

Lahan yang porous maka infiltrasi akan besar, lahan yang terjal dimana air tidak sempat terinfiltrasi ke dalam tanah maka koefisien infiltrasi akan kecil.

Besarnya koefisien infiltrasi lebih kecil dari 1 (satu).

Rumus – rumus simpanan air tanah

$$I_n = WS \times I \quad (2-35)$$

$$V_n = k \cdot V_{(n-1)} + 0,5 (1 + k) I_n$$

$$DV_n = V_n - V_{(n-1)}$$

Dengan:

V_n = Volume air tanah

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

I = Koefisien infiltrasi

DV_n = Perubahan volume air tanah bulan ke-n

A = Volume tmpungan per bulan

I_n = Infiltrasi volume air yang masuk ke dalam tanah

Aliran dasar = infiltrasi - perubahan volume aliran air dalam Tanah ($m^3/10hari$)

Aliran permukaan = water surplus – infiltrasi ($m^3/10hari$)

Aliran Sungai = aliran permukaan + aliran dasar

Debit efektif = aliran sungai dinyatakan dalam $m^3/10hari$.

2.2.2 Parameter Karakteristik DAS

Dalam metode FJ. Mock terdapat lima parameter yang menggambarkan karakteristik DAS yang besar pengaruhnya terhadap keluaran sistem, yakni:

1. Singkapan lahan

Singkapan lahan disesuaikan dengan penggunaan tata guna lahan, Prosentasi singkapan lahan ini berpengaruh terhadap evapotranspirasi.

Tabel 2.8 Singkapan Lahan sesuai Tata Guna Lahan

No	Jenis Penggunaan Lahan	m (%)
1	Hutan lebat	0
2	Lahan yang terisolasi	10 – 40
3	Lahan pertanian yang diolah	30 - 50

Sumber: Hadisusanto (2010:231)

2. Koefisien infiltrasi

Koefisien infiltrasi ditentukan berdasarkan porositas tanah, kemiringan daerah pengaliran dan keadaan geologi.

Tabel 2.9 Koefisien infiltrasi berdasarkan jenis batuan (Ci)

No	Jenis Batuan	Ci
1	Vulkanik muda	0,30 – 0,50
2	Vulkanik tua, muda dan sedimen	0,15 – 0,25
3	Batu pasir	0,15
4	Sedimen lanau, batu cukup kedap	0,15
5	Batu gamping	0,30 – 0,50

Sumber: Kurniawan (2009:14)

3. Kapasitas kelembapan tanah (SMC)

Banyaknya air yang dapat dikandung oleh tanah merupakan kapasitas kelembapan tanah (Sosrodarsono, 1987:72). Pada simulasi Mock kapasitas kelembapan ditentukan berdasarkan kelembapan tanah tersebut. Misalnya, untuk tanah dengan kelembapan tanah maksimum 25% maka kapasitas tanah tersebut 25 cm air pada tanah seluas 1 m². Biasanya kelembapan tanah ditaksir berkisar antara 50 sampai 250 mm per m².

4. Initial storage

Initial storage adalah besarnya volume air pada saat awal perhitungan

5. Faktor Resesi Air tanah

Dalam perhitungan kandungan air tanah terdapat faktor resesi air tanah (k) yakni perbandingan air tanah pada suatu bulan dengan aliran air tanah pada awal bulan.

2.2.3 Sedimentasi

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.

2.2.4 Laju Erosi dan Sediment Yield Metode USLE

Untuk memperkirakan laju sedimentasi pada DAS Bonan Dolok 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

Tidak semua sedimen yang dihasilkan oleh 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*).

$$SDR = \frac{S(1-0,8683A^{-2018})}{2(S+50n)} + 0,08683 A^{-0,2018} \quad (2-36)$$

dimana:

SDR = nisbah pelepasan sedimen, nilainya $0 < SDR < 1$

A = luas daerah aliran sungai

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

n = koefisien kekasaran manning

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

$$S_{pot} = E_a \times SDR \quad (2-37)$$

dimana:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

S_{pot} = sedimentasi potensial

E_a = erosi aktual

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:

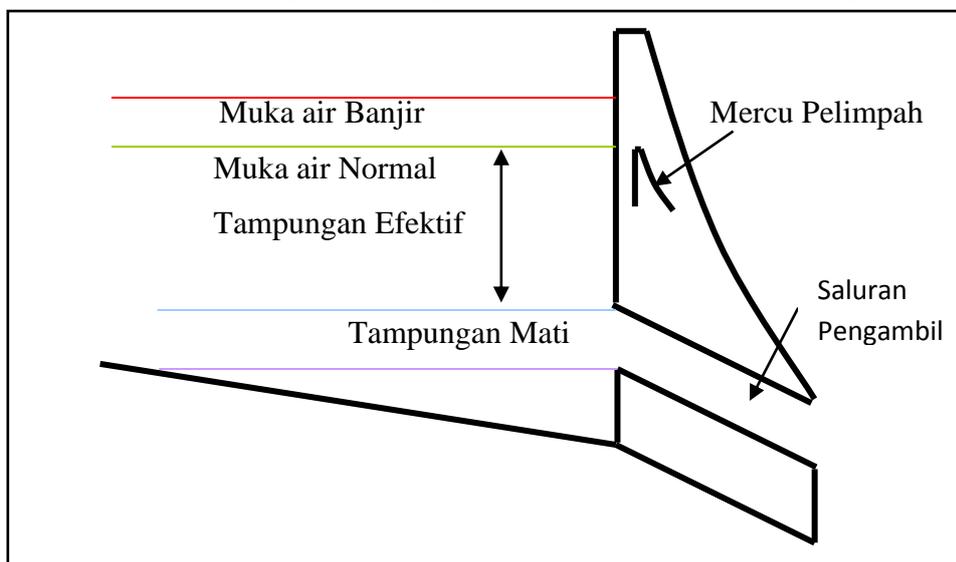
- a. Kebutuhan Air
- b. Tersedianya Air
- c. Neraca Air

2.4 Kapasitas Tampungan Efektif

2.4.1 Daya Tampungan oleh Topografi (V_P)

Yang dimaksud daya tampungan oleh topografi (V_P) adalah besarnya volume maksimum kolam embung yang terbentuk karena dibangunnya suatu embung. Setelah lokasi dan as embung ditentukan, maka perlu menghitung volume total waduk. Harus di cari luas yang dibatasi oleh masing – masing katur dengan *planimeter*. Kemudian dicari volume yang dibatasi oleh 2 garis kontur yang berurutan. Akan di ambil satu contoh seperti terlihat pada **Gambar 2.4.** misalnya elevasi dasar sungai yang akan menjadi dasar waduk adalah +100,00 sedangkan elevasi permukaan waduk penuh air adalah +130,00.

Dengan mengetahui luasan pada interval elevasi kontur tertentu, maka didapatkan juga volume tampungan waduk untuk tiap interval elevasi. Dengan demikian dapat digambarkan kurva kapasitas tampungan waduk atau lengkung kapasitas waduk.

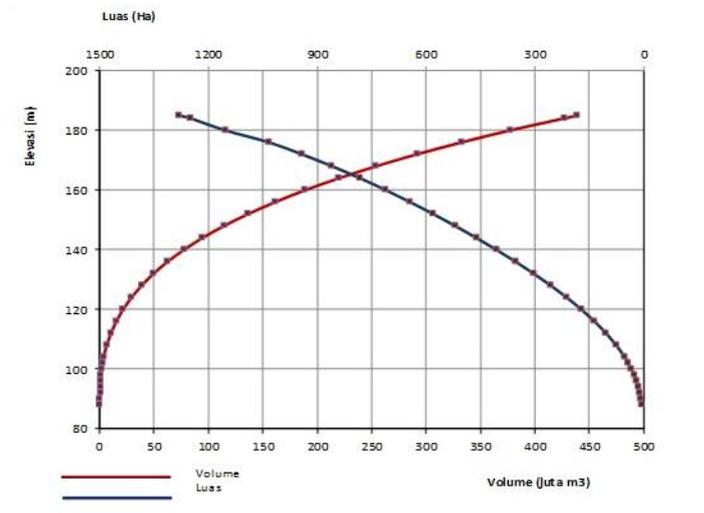


Gambar 2.4. Zona-zona Tampungan Waduk

2.4.2 Lengkung Kapasitas Waduk

Lengkung kapasitas waduk merupakan suatu kurva yang menggambarkan hubungan antara luas muka air, volume dengan elevasi. Dengan kurva ini maka nantinya akan diketahui besarnya tampungan pada elevasi tertentu, sehingga ketinggian muka air yang

diperlukan dapat ditemukan untuk mendapatkan besarnya volume tampungan pada suatu elevasi tertentu, kurva ini juga bisa digunakan untuk menentukan besarnya kehilangan air akibat perkolasi yang dipengaruhi oleh luas muka air pada elevasi tertentu (Soedibyo, 1993).



Gambar 2.5 Grafik Lengkung Kapasitas Waduk

Dari persamaan lengkung kapasitas waduk, maka persamaan luas genangan waduk dapat ditentukan menurut persamaan:

$$A = C_h \cdot S^n \quad (2-38)$$

Dengan:

A = luas muka air waduk (km^2)

S = volume tampungan total (m^3)

C_h = koefisien (didapatkan dari persamaan lengkung kapasitas $y = \alpha x^b$)

2.5 Perencanaan Teknis Embung

2.5.1 Tipe Tubuh Embung

Tubuh Embung dapat didesain menurut beberapa tipe yaitu :

1. tipe urugan homogen
2. tipe urugan majemuk
3. tipe pasangan batu atau beton
4. tipe komposit

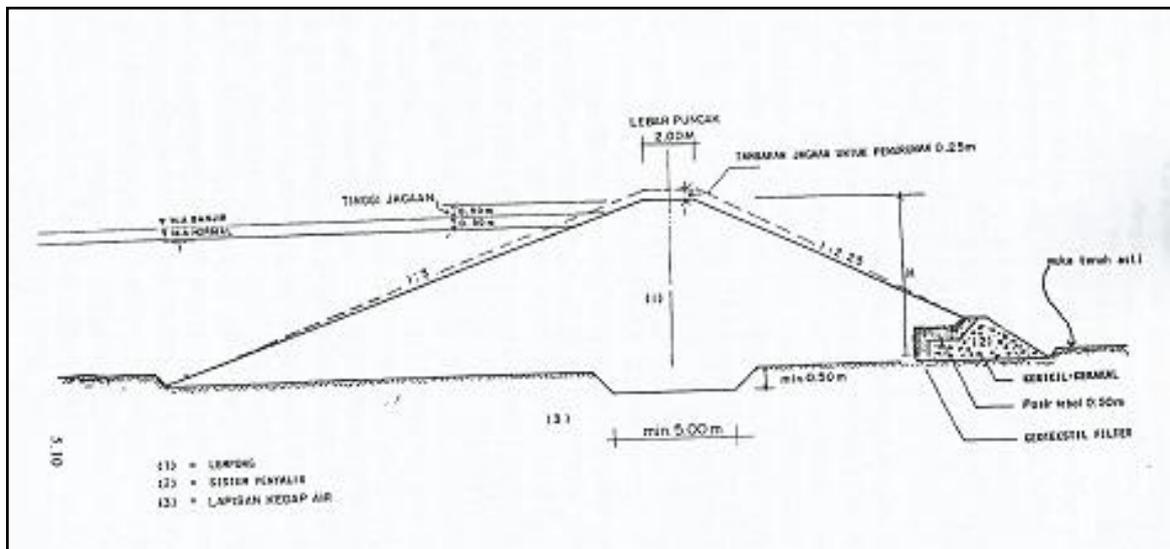
Pemilihan tipe tersebut diatas tergantung dari jenis pondasi, panjang/bentuk lembah, dan bahan bangunan yang tersedia di tempat. Tubuh embung bertipe urugan (homogen dan majemuk) dapat dibangun pada pondasi tanah atau batu, sedangkan tipe pasangan batu atau beton hanya dapat dibangun pada pondasi batu. Disamping itu tipe pasangan batu atau

beton karena mahal hanya disarankan bila lembah sempit (bentuk V) dimana kedua tebingnya curam dan terdiri dari material batu. Bilamana lembah panjang/lebar dan terdiri dari material batu maka tubuh embung akan lebih murah bilamana dipilih tipe komposit.

2.5.1.1 Urugan tanah homogen

Tubuh embung dapat didesain sebagai urugan homogen, dimana bahan urugan seluruhnya atau sebagai besar hanya menggunakan satu macam material saja yaitu lempung atau tanah berlempung.

Tubuh embung yang didesain dengan tipe ini harus memperhatikan kemiringan lereng dan muka garis preatik atau rembesan. Kemiringan lereng umumnya cukup landai terutama untuk menghindari terjadinya longsoran di lereng udik pada kondisi surut cepat serta menjaga stabilitas lereng hilir urugan pada kondisi rembesan langgeng.



Gambar 2.6 Urugan homogen

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:5.10)

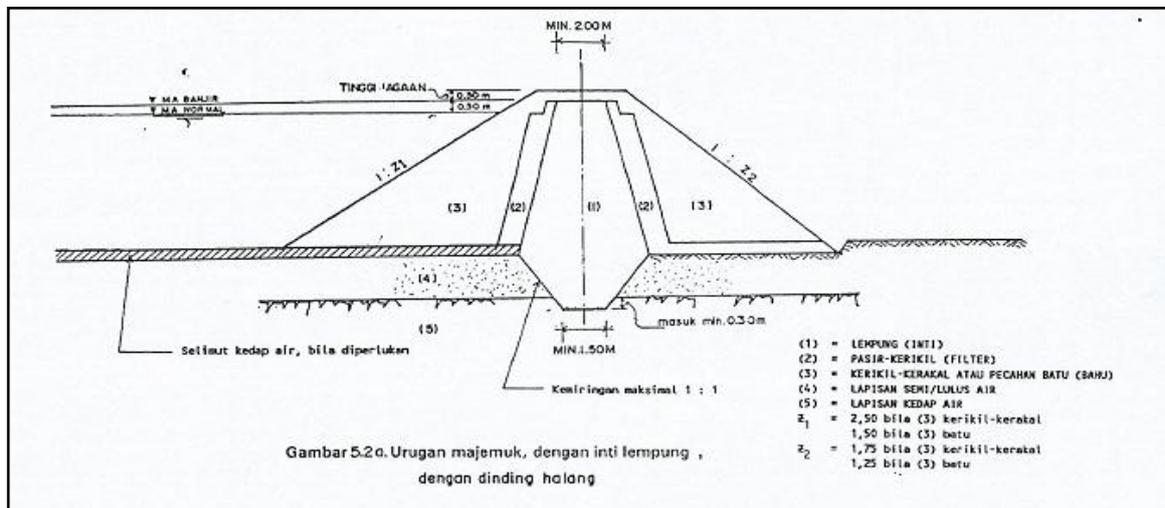
2.5.1.2 Urugan majemuk

Tubuh embung dapat didesain sebagai urugan majemuk apabila tersedia material urugan lebih dari satu macam. Urugan terdiri dari urugan kedap air, urugan semi kedap air (transisi) dan urugan lulus air.

Urugan kedap air atau inti kedap air umumnya dari lempung atau tanah berlempung, dan ditempatkan vertikal didesain di bagian tengah. Tanah bahan urugan inti harus mengandung lempung minimal 25% (perbandingan berat). Bagian inti tanah dilindungi dengan urugan semi kedap air dibagian udik dan hilirnya. Sedangkan bagian paling luar

terdiri dari urugan lurus air. Dengan susunan seperti itu koefisien kelulusan air dan gradasi material berubah secara bertahap, makin keluar makin besar.

Apabila tanah bahan inti tidak dapat diperoleh di tempat, maka inti dapat dibuat dari bahan substitusi, misal : beton atau semen tanah. Bila bahan substitusi dipakai maka inti menjadi relatif tipis, tebal minimal 0,60 m, dan disebut dinding diafragma.



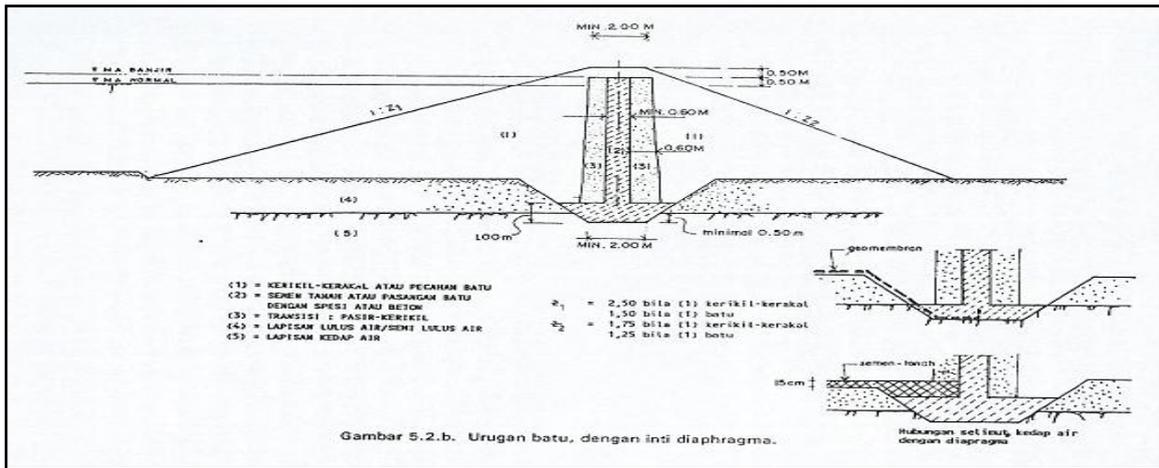
Gambar 2.7 Urugan majemuk

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:5.12)

2.5.1.3 Pasangan batu/beton

Apabila pondasi tubuh embung terdiri dari satuan batu, maka tubuh embung dapat dibuat dari pasangan batu atau beton. Pada lembah yang sempit atau curam, berbentuk V, tubuh embung tipe ini umumnya didesain menjadi satu dengan bangunan pelimpah yang terbuat dari material yang sama.

Agar keamanan terhadap stabilitas dapat terpenuhi maka tubuh embung didesain berbentuk “graviti”, sehingga stabilitasnya dapat diperoleh dari berat strukturnya sendiri. Tubuh bagian hilir didesain dengan kemiringan tidak lebih curam dari IH : IV, sedang tingginya maksimum diambil 7,00 m dari galian pondasi.



Gambar 2.8 Urugan batu

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:5.13)

2.5.1.4 Komposit

Tipe komposit dibangun pada pondasi yang terdiri dari satuan batu, dengan lembah yang cukup panjang. Bangunan pelimpah dibangun menjadi satu dengan tubuh embung. Bangunan pelimpah didesain sebagai pelimpah dari pasangan batu atau beton, sedng tubuh embung dibangun di kiri kanan pelimpah yang dapat didesain sebagai urugan homogen atau urugan majemuk.

Penetapan suatu tipe tubuh bendung yang sesuai dengan tempat kedudukan yang sesuai dengan tempat kedudukan embung dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut ini :

1. Kualitas serta kuantitas dari bahan tubuh embung yang terdapat di daerah sekitar embung yang akan dikembangkan.
2. Kondisi pengerjaan terhadap bahan tubuh embung, meliputi cara penggalian, pengolahan, pengangkutan dan sebagainya.
3. Kondisi lapangan tanah pondasi pada kedudukan embung.

2.5.2 Tinggi Tubuh Embung

Tinggi tubuh embng harus ditentukan dengan mempertimbangkan kebutuhan tampungan air, dan keamanan tubuh embung terhadap peluapan oleh banjir.

$$H_d = H_k + H_b + H_f + 0,25 \quad (2-39)$$

H_d = tinggi tubuh embung desain (m)

H_k = tinggi muka air kolam pada kondisi penuh (m)

H_b = tinggi tampungan banjir (m)

H_f = tinggi jagaan (m)

Angka 0,25 merupakan angka untuk antisipasi terhadap penurunan tubuh embung. Besarnya tinggi jagaan dapat ditentukan dari *standart* seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.10 Tinggi Jagaan Embung

NO	Tipe Tubuh Embung	Tinggi Jagaan
1	Urugan homogen dan majemuk	0,5 m
2	pasangan batu/beton	0 m
3	Komposit	0,5 m

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:5.6)

2.5.3 Lebar Mercu Embung

Guna memperoleh lebar minimum mercu bendungan, biasanya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$B = 3,6 \cdot H^{1/3} - 3 \quad (2 - 40)$$

Dimana:

B = lebar mercu embung (m)

H = tinggi embung (m)

Atau berdasarkan pada pedoman kriteria seperti ditunjukkan tabel berikut ini:

Tabel 2.11 Standart Lebar Puncak Embung

Tipe	Tinggi (m)	Lebar Puncak (m)
Urugan	< 5,00	2,00
	5,00 – 10,00	3,00
Pasangan batu/beton	Sampai maksimal 7,00	1,00

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:5.4)

2.5.4 Kemiringan Lereng Tubuh Embung

Dalam Pedoman kriteria desai embung kecil untuk daerah semi kering di indonesia. Kemiringan lereng urugan telah diberikan suatu ketetapan sebagai berikut :

Tabel 2.12 Kemiringan Lereng Urugan untuk Tinggi Maksimum 10 m

Material Urugan	Material Umum	Kemiringan lereng vertikal : horisontal	
		Hulu	Hilir
1. Urugan Homogen	CH, CI, SC, GC, GM, SM	1 : 3	1 : 2,25
2. Urugan Majemuk			
a. Urugan batu dengan inti lempung	Pecahan batu	1 : 1,5	1 : 1,25
b. Kerikil- kerikal dengan inti lempung	Kerikil - kerikal	1 : 2,5	1 : 1,75

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:5.5)

Kemiringan lereng tubuh embung urugan dapat pula ditentukan melalui persamaan. Persamaan untuk menentukan kemiringan tersebut adalah :

$$FS_{hulu} = \frac{m - k \cdot \gamma}{1 + k \cdot m} \cdot \text{tg } \phi \geq 1,1 \quad (2 - 41)$$

$$FS_{hilir} = \frac{n - k}{1 + k \cdot n} \cdot \text{tg } \phi \geq 1,1 \quad (2 - 42)$$

Dimana:

FS_{hulu} = faktor keamanan lereng bagian hulu

FS_{hilir} = faktor keamanan lereng bagian hilir

m = kemiringan lereng hulu

n = kemiringan lereng hilir

k = koefisien gempa

ϕ = sudut geser dalam

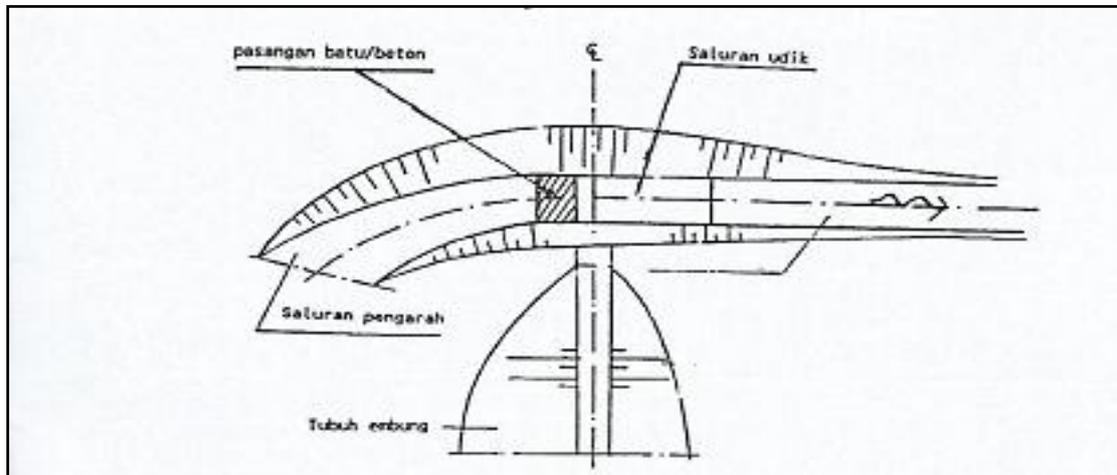
2.6 Perencanaan Bangunan Pelimpah

Secara umum tipe pelimpah yang dapat diterapkan pada embung adalah:

1. Pelimpah tipe saluran terbuka.
2. Pelimpah tipe ogee (overflow) dengan peredam energi USBR tipe 1.

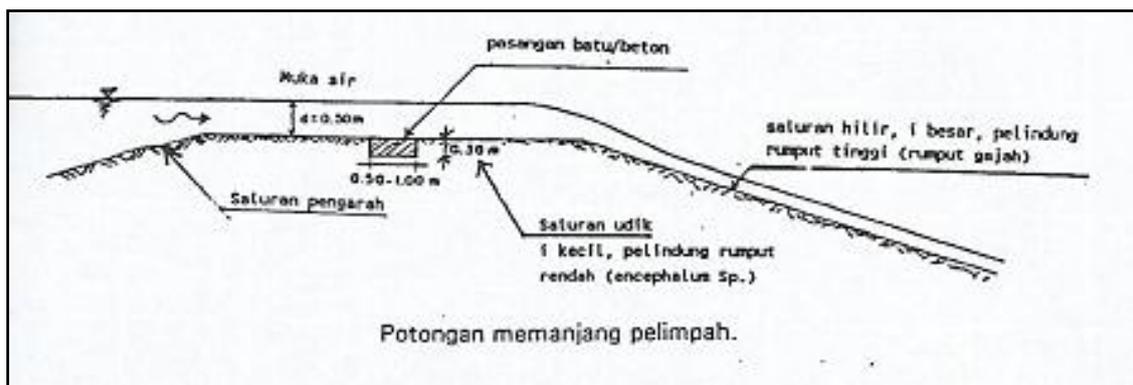
Pelimpah tipe saluran terbuka dipilih bilamana tubuh embung bertipe urugan. Pelimpah ini harus diletakkan terpisah dengan tubuh embung dan dapat dibangun di atas bukit tanah atau batu.

Bilamana pondasi berjenis batu sehingga tubuh embung dipilih dari tipe pasangan batu/beton atau komposit, maka pelimpah akan bertipe ogee. Pelimpah jenis ini dibangun menyatu dengan tubuh embung.



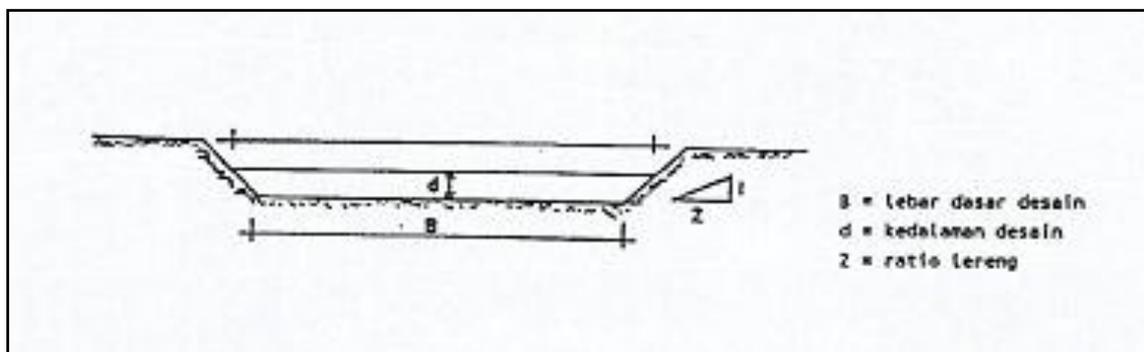
Gambar 2.9 Denah pelimpah tipe saluran terbuka

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:6.7)



Gambar 2.10 Potongan memanjang pelimpah

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:6.7)



Gambar 2.11 Potongan melintang pelimpah

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1997:6.7)

2.6.1 Hidraulika

2.6.1.1 Dimensi hidraulik tubuh pelimpah

Besar aliran yang meluap sempurna melalui mercu pelimpah dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$Q = CBH^{1,5}$$

dimana:

Q = aliran yang melalui mercu (m³/dt)
= puncak banjir 50 tahunan

B = lebar / panjang mercu pelimpah (m)

H = tinggi air di kolam = tinggi tekanan diatas mercu (m)

H maksimum = 0,75 m untuk tubuh embung tipe komposit
= 1,00 m untuk tubuh embung tipe pasangan/beton

C = koefisien aliran untuk ambang lebar (= 1,80)

Dengan rumus diatas dapat ditentukan/dipilih lebar pelimpah B :

$$B = \frac{Q_{50}}{1,80 H^{1,5}} \quad (2-43)$$

2.6.1.2 Perhitungan hidraulik peredam energi

Perhitungan hidraulik pada kolam peredam energi USBR Tipe I dapat menggunakan langkah berikut ini :

1. Kecepatan aliran di udik lantai peredam energi (sebelum loncatan) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$V_1 = \sqrt{2g \left\{ (z + d) - \frac{D}{2} \right\}}$$

$$V_1 = \sqrt{2g (z + 0,5 D)}$$

$$d_1 = \frac{q}{\sqrt{V_1}} \quad (2-44)$$

2. Nilai Froude

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}} \quad (2-45)$$

3. Tinggi air sesudah loncatan

$$\frac{D_2}{d_1} = 0,5 (\sqrt{1 + 8F^2} - 1) \quad (2-46)$$

4. Panjang kolam peredam energi dapat diperoleh dengan menggunakan grafik yang menggambarkan hubungan antara nilai Froude dan ratio L dan d₁.

2.7 Analisis Stabilitas Tubuh Embung

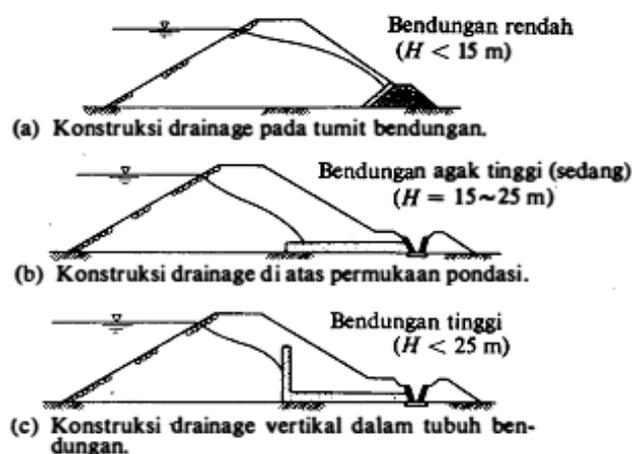
2.7.1 Analisis Stabilitas Terhadap Rembesan

Tubuh embung dan pondasinya harus mampu mempertahankan diri terhadap gaya – gaya yang mengalir melalui celah – celah antara butiran tanah pembantuk tubuh embung dan pondasinya. Untuk mengetahui daya tahan tubuh embung terhadap gaya yang timbul, maka perlu analisa mengenai hal – hal sebagai berikut:

1. Formasi garis rembesan dalam tubuh embung
2. Kapasitas air filter yang melalui embung.
3. Kemungkinan terjadi, yang disebabkan oleh gaya – gaya hidro dinamis dalam aliran filtrasi.

2.7.2 Formasi Garis Depresi

Ditinjau dari sudut pelaksanaan pembangunannya, embung homogen merupakan embung yang paling sederhana dibandingkan dengan type-type lainnya, akan tetapi senantiasa dihadapkan pada problema stabilitas tubuh embung tersebut. Hal tersebut disebabkan karena di seluruh tubuh embung yang terletak di bawah garis depresi (*seepage line*), senantiasa dalam kondisi jenuh, sehingga daya dukung, kekuatan geser serta sudut luncur alamiyahnya menurun pada tingkat-tingkat yang paling rendah. Berhubung dengan hal-hal tersebut di atas, maka embung homogen akan menguntungkan hanya untuk embung yang relatif rendah. Tetapi untuk embung yang lebih tinggi dari 6 s/d 7 meter, maka suatu sistem drainage telah diperlukan pada bagian hllir tubuh bendungan tersebut, guna menurunkan garis depresinya. Beberapa contoh sistem drainage pada bendungan homogen secara skematis:

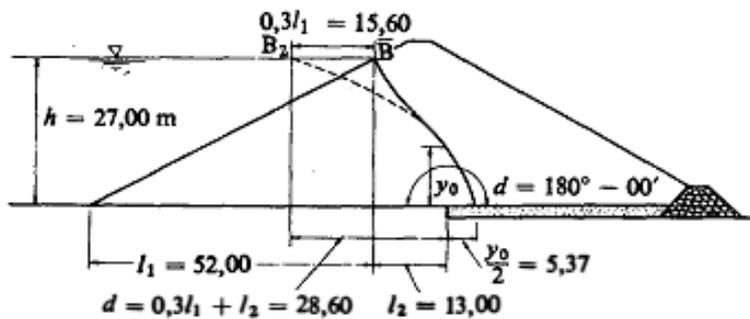


Gambar 2.12 Contoh Skema Konstruksi Drainage

Sumber: Sosrodarsono, 1977

2.7.3 Penggambaran Garis Rembesan Secara Grafis

Formasi garis depresi pada zone kedap air suatu bendungan dapat diperoleh dengan metode Casagrande. Apabila angka permeabilitas vertikalnya (k_v) berbeda dengan angka permeabilitas horizontalnya (k_h), maka akan terjadi deformasi garis depresi dengan mengurangi koordinat horizontalnya sebesar $\sqrt{k_v/k_h}$ kali.



Gambar 2.13. Skema Formasi Garis Depresi

Sumber: Sosrodarsono, 1977

Garis depresi dapat diperoleh dengan persamaan parabola sebagai berikut:

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2y_0} \quad (2-47)$$

atau

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2} \quad (2-48)$$

dan

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \quad (2-49)$$

2.7.4 Kontrol Keamanan Dari Bahaya Piping

Agar gaya-gaya hidrodinamis yang timbul pada aliran filtrasi tidak menyebabkan gejala sufosi dan sembulan, maka kecepatan aliran filtrasi dalam tubuh bendungan tidak boleh terlalu besar. Parameter yang menentukan kecepatan aliran filtrasi ini adalah kemiringan ebergi (gradient hidraulic) aliran filtrasi tersebut, dimana:

$$v = k \cdot i = k \cdot \frac{\Delta h}{L} \quad (2 - 50)$$

dengan:

V = kecepatan aliran pada bidang keluarnya rembesan

k = koefisienpermeabilitas

i = gradient hidrolis

Δh = tekanan rerata (perbedaan tinggi tekan air di hulu dan di hilir)

L = panjang rerata berkas elemen aliran filtrasi.

Gradien hidrolis tersebut tidak boleh lebih besar dari gradient hidrolis kritis, yaitu keadaan dimana keadaan tegangan air pori edemikian besar sehingga menghapus tegangan efektif tanah, dalam hal ini butir-butir tanah akan terseret aliran.

2.7.5 Perhitungan Stabilitas terhadap Longsor Tubuh *Main Dam*

Runtuhnya suatu bendungan urugan biasanya dimulai dengan terjadinya gejala longsor baik pada lereng bagian hulu maupun bagian hilir, yang disebabkan kurang memadainya stabilitas kedua lereng tersebut.

Maka dalam pembangunan bendungan utama tipe urugan, stabilitas lereng-lerengnya merupakan kunci dari stabilitas tubuh bendungan secara menyeluruh.

Dengan demikian pada perencanaan bendungan urugan harus diadakan perkiraan yang cermat terhadap faktor-faktor yang mungkin berpengaruh terhadap stabilitas lereng, serta kombinasi pembebanan yang paling tidak menguntungkan.

Dalam perencanaan ini akan digunakan metode Irisan Bidang Luncur Bundar Fellenius untuk menganalisa stabilitas lereng.

Dengan persamaan angka keamanan sebagai berikut.

$$F_s = \frac{\sum (C.L + (N - U - Ne) \tan \theta)}{\sum (T + Te)} > 1,1 \text{ (GEMPA)} \quad (2 - 51)$$

dengan:

F_s = angka faktor keamanan

C = angka kohesi material

W = berat beban

N = $W \cos \alpha$ (beban komponen vertikal)

T = $W \sin \alpha$ (beban komponen horizontal)

U = tekanan air pori

Ne = $N \times$ faktor gempa ($N \times e$)

Te = $T \times$ faktor gempa ($T \times e$)

θ = sudut geser dalam material

2.7.6 Analisis Stabilitas Lereng Metode *Fellenius*

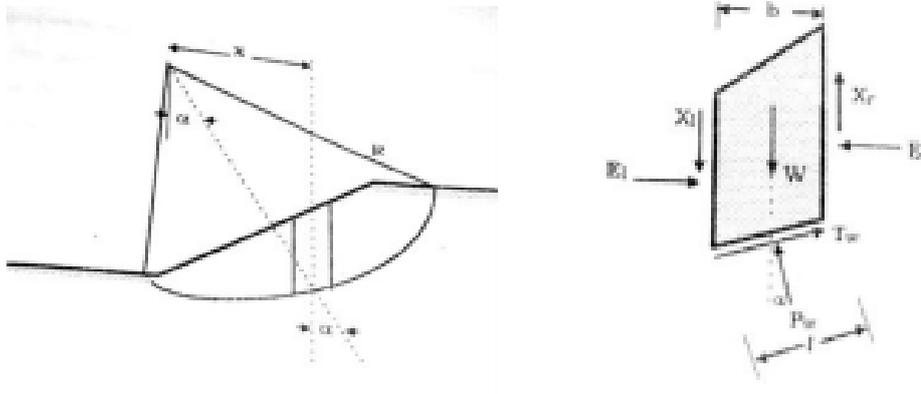
Metode Fellenius (Ordinary Method of Slice) diperkenalkan pertama oleh Fellenius (1927,1936) berdasarkan bahwa gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan FK dihitung dengan keseimbangan momen. Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah

pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja ditengah-tengah slice. Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisan adalah sama dengan nol, atau dengan kata lain bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan.

Jadi total asumsi yang dibuat oleh metode ini adalah:

- Posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan : n
- Resultan gaya antar irisan sama dengan nol : n – 1 Total : 2n – 1

Dengan anggapan-anggapan ini maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi dan diperoleh suatu nilai Faktor Keamanan.



Gambar 2.14 Lereng dengan busur lingkaran bidang longsor

diperlihatkan suatu lereng dengan sistem irisan untuk berat sendiri massa tanah (W) serta analisis komponen gaya-gaya yang timbul dari berat massa tanah tersebut, yang terdiri dari gayagaya antar irisan yang bekerja di samping kanan irisan (E_r dan X_t). Pada bagian alas irisan, gaya berat (W) diuraikan menjadi gaya reaksi normal P_w yang bekerja tegak lurus alas irisan dan gaya tangensial T_w yang bekerja sejajar irisan. Besarnya lengan gaya (W) adalah $x = R \sin \alpha$, dimana R adalah jari-jari lingkaran longsor dan sudut α adalah sudut pada titik O yang dibentuk antara garis vertikal dengan jari-jari lingkaran longsor.

Dengan menggunakan prinsip dasar serta asumsi-asumsi yang telah dikemukakan di atas, maka selanjutnya dapat diuraikan analisis Faktor Keamanannya sebagai berikut:

Kriteria Keruntuhan Mohr–Coulomb:

$$s = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (1)$$

dengan: s = Kuat geser tanah

c' = Kohesi tanah efektif

σ' = Tegangan normal efektif

ϕ' = sudut geser dalam tanah efektif

Tegangan Normal Efektif dinyatakan sebagai:

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2-52)$$

dengan: σ = Tegangan normal total

u = Tekanan air pori

Kemudian tegangan normal total yang bekerja pada bidang longsor dinyatakan sebagai:

$$\sigma = \frac{Pw}{l_1} \quad (2-53)$$

dengan: Pw = Gaya normal akibat berat sendiri tanah

l_1 = lebar alas irisan

l_1 = satu satuan lebar bidang longsor

Substitusi persamaan (2-65) ke dalam persamaan (2-64) menghasilkan :

$$s = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (2-54)$$

dan substitusi persamaan (2-65) pada persamaan (2-66) menghasilkan :

$$s = c' + (-u) \tan \phi' \quad (2-55)$$

Agar supaya lereng menjadi stabil maka gaya-gaya yang diperlukan untuk mengakibatkan longsor haruslah lebih kecil dari pada gaya-gaya yang ada sehingga faktor keamanan akan menjadi lebih besar atau sama dengan satu.

Dengan kata lain:

$$FK = \frac{\text{Tegangan geser yang ada}}{\text{Tegangan geser penyebab longsor}} \quad (2-56)$$

dengan: $FK > 1,5$ menunjukkan lereng stabil

$FK = 1,5$ kemungkinan lereng tidak stabil

$FK < 1,5$ menunjukkan lereng tidak stabil

Atau dalam bentuk rumus dinyatakan sebagai:

$$F = \frac{s}{\tau} \quad (2-57)$$

Dan tegangan geser adalah:

$$\tau = \frac{s}{F} \quad (2-58)$$

Gaya geser yang diperlukan adalah:

$$S = \tau \cdot l \cdot 1 \quad (2-59)$$

dengan:

s = Tegangan geser

S = Gaya geser

Jika persamaan (2-70) disubstitusikan pada persamaan (2-711), maka diperoleh:

$$S = \frac{s \cdot l \cdot 1}{F} \quad (2-60)$$

Atau:

$$S = \frac{1}{F} (s \cdot l) \quad (2-61)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2-66) ke dalam persamaan (2-72), diperoleh:

$$S = \left[\frac{1}{F} \left\{ c' + \left\{ \frac{Pw}{l} - u \right\} \tan \emptyset' \right\} l \right] \quad (2-62)$$

$$S = \left[\frac{1}{F} \left\{ c' \cdot l + \left\{ \frac{Pw \cdot l}{l} - u \cdot l \right\} \tan \emptyset' \right\} \right] \quad (2-63)$$

$$S = \left[\frac{1}{F} \left\{ c' \cdot l + \{ Pw - u \cdot l \} \tan \emptyset' \right\} \right] \quad (2-64)$$

Komponen gaya tangensial atau gaya yang bekerja sejajar irisan (T_w) adalah:

$$T_w = \tau \cdot l \cdot l \quad (2-65)$$

Substitusi persamaan (2-69) pada persamaan (2-77) menghasilkan:

$$T_w = l \cdot l \quad (2-66)$$

Persamaan (2-77) identik dengan persamaan (2-71) sehingga T_w dapat dinyatakan sebagai:

$$T_w = S \quad (2-67)$$

Dengan memasukkan harga s dari persamaan (2-76) maka persamaan (2-79) dapat dinyatakan kembali menjadi:

$$T_w = \left[\frac{1}{F} \left\{ c' \cdot l + \{ Pw - u \cdot l \} \tan \emptyset' \right\} \right] \quad (2-68)$$

Komponen gaya normal (P_w) yang bekerja pada pusat alas irisan akibat berat sendiri tanah (W) adalah:

$$P_w = W \cdot \cos \alpha \quad (2-69)$$

Komponen gaya tangensial (T_w) akibat berat massa tanah adalah:

$$T_w = W \cdot \sin \alpha \quad (2-70)$$

Selanjutnya dengan menguji kesetimbangan momen dari seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi yaitu titik O maka diperoleh suatu bentuk persamaan:

$$\sum M = 0 \quad (2-71)$$

$$\sum W \cdot l_w - \sum T_w \cdot R = 0 \quad (2-72)$$

dengan: $l_w = x = R \cdot \sin \alpha$

$$T_w = \left[\frac{1}{F} \left\{ c' \cdot l + \{ Pw - u \cdot l \} \tan \emptyset' \right\} \right] \quad (2-73)$$

Dengan memasukkan nilai l_w dan T_w ke dalam persamaan (22) diperoleh:

$$\sum W \cdot R \sin \alpha - \left[\frac{1}{F} \left\{ c' \cdot l + \{ Pw - u \cdot l \} \tan \emptyset' \right\} \right] R = 0 \quad (2-74)$$

$$\sum W \cdot R \sin \alpha = \left[\frac{1}{F} \left\{ c' \cdot l + \{ Pw - u \cdot l \} \tan \emptyset' \right\} \right] R \quad (2-75)$$

$$\sum W \cdot \sin \alpha = \left[\frac{1}{F} \left\{ c' \cdot l + \{ Pw - u \cdot l \} \tan \emptyset' \right\} \right] \quad (2-76)$$

F pada ruas kanan ditukarkan dengan komponen momen l gaya penggerak longsor yaitu $\sum W \sin \alpha$ maka diperoleh suatu persamaan Faktor Keamanan sebagai berikut:

$$FK = \frac{\sum \left[\frac{1}{F} \{ c'.l + \{ Pw - u.l \} \tan \theta' \} \right]}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (2-77)$$

Selanjutnya dengan mensubstitusikan besarnya nilai komponen gaya normal akibat berat tanah (W) pada persamaan (2-81) ke dalam persamaan (2-90) maka diperoleh Persamaan Faktor Keamanan akibat berat tanah (W) sebagai berikut:

$$FM_w = \frac{\sum \left[\frac{1}{F} \{ c'.l + \{ Pw - u.l \} \tan \theta' \} \right]}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (2-78)$$

Ini merupakan rumus dasar Faktor Keamanan akibat berat sendiri tanah (W) yang dirumuskan oleh Fellenius yang didapat dengan cara meninjau kesetimbangan momen seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi O.

Nilai Faktor Keamanan ini adalah sama dengan perbandingan antara seluruh komponen momen penahan longsor dengan momen penyebab longsor untuk seluruh irisan yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$FM_w = \frac{\sum \text{Momen Penahan Longsor}}{\sum \text{Momen Penyebab Longsor}} \quad (2-79)$$

(Anderson dan Richard, 1987)

2.7.7 Penentuan Koefisien Gempa

Desain suatu embung tipe urugan yang menahan air dalam volume yang besar harus mempertimbangkan faktor keamanan terhadap pengaruh kegempaan. Untuk itu nilai koefisien gempa suatu daerah dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$k = \frac{A_d}{g} \quad (2 - 80)$$

dimana:

k = koefisien gempa

A_d = percepatan gempa terkoreksi (cm/dt^2)

g = percepatan gravitasi (cm/dt^2)

$$\text{sedangkan, } A_d = z \cdot A_C \cdot v \quad (2 - 81)$$

Dimana:

z = koefisien zona

A_C = percepatan gempa dasar (Tabel 2.12)

v = faktor koreksi (Tabel 2.13)

Tabel 2.13 Faktor Koreksi Pengaruh Jenis Tanah / Batuan

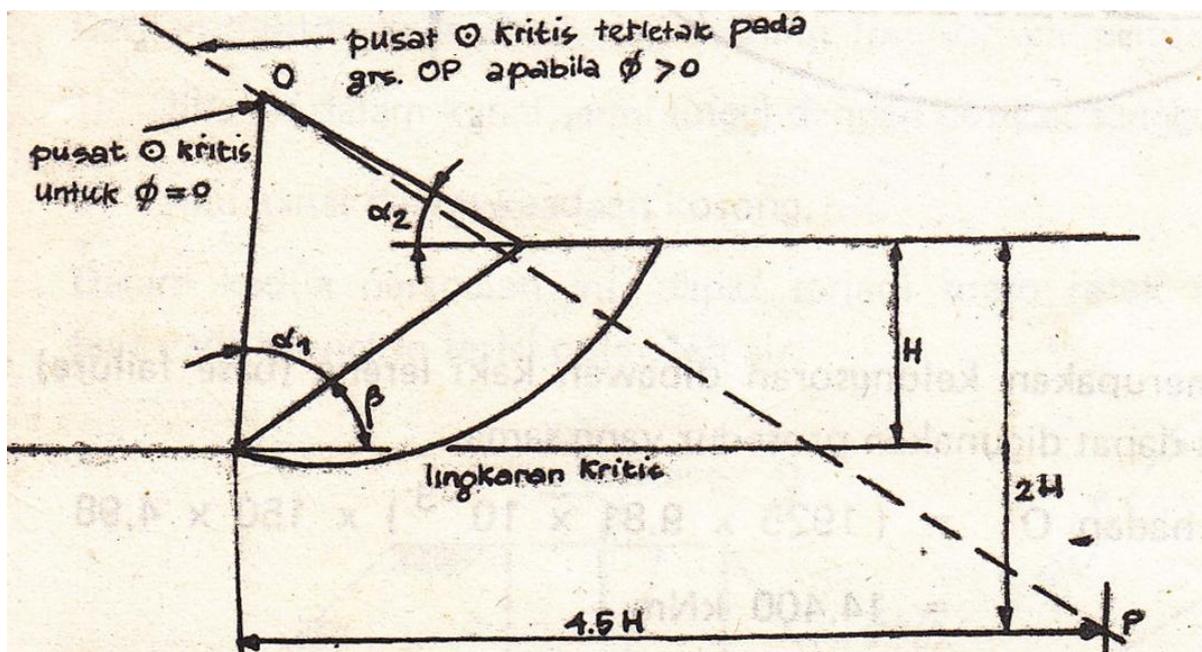
Jenis Batuan Dasar	Faktor Korelasi (v)
Batuan	0,8
Dilluvium	1,00
Alluvium	1,10
Alluvium lunak	1,20

Sumber : Analisis stabilitas bendungan tipe urugan akibat beban gempa, 2004

2.7.8 Menentukan Lokasi Titik Pusat Bidang Longsor

Menentukan letak pusat busur longsor kritis terhadap stabilitas lereng digunakan guna mengurangi jumlah coba-coba.

Garis PQ adalah pusat busur longsor tanah homogen, dengan Q diperoleh dari menarik garis sepanjang H kebawah dari kaki tanggul dan 4.5H jarak mendatar seperti gambar 2.15 Titik P ditentukan dari bantuan sudut α_1 dan α_2 , seperti pada tabel 2.15.



Gambar 2.15 Letak Pusat Busur Longsor Kritis Terhadap Stabilitas Lereng

Tabel 2.14 Sudut-sudut petunjuk menurut Fellenius

Kemiringan	Sudut-sudut petunjuk	
	α_1	α_2
1 : 1	27,5	37
1 : 2	25	35
1 : 3	25	35
1 : 4	25	35
1 : 6	25	35

Sumber: Garg (1980:985)

Setelah lokasi titik pusat bidang longsornya ditentukan, titik kritis bisa digambarkan, kecuali pada beberapa keadaan seperti ini:

- a. Jika nilai sudut geser kecil, busur lingkaran harus melewati kaki tanggul.
- b. Jika lapisan keras berada pada kedalaman dangkal dibawah bendungan, busur lingkaran tidak boleh melewati lapisan keras.
- c. Susut geser antara $0-15^\circ$ dan kemiringan lereng kurang dari 53° . Titik kritis akan jatuh pada garis vertikal melalui pusat lereng.

Halaman ini sengaja dikosongkan