

**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1 Tinjauan Umum**

Merencanakan Embung memerlukan beberapa ilmu yang mencakup pengetahuan geologi, hidrologi, hidrolika dan mekanika tanah (Soedibyo, 2003). Embung merupakan sebuah reservoir yang digunakan untuk menyediakan air bersih, baik untuk pertanian ataupun ternak dalam skala terbatas yang dapat digunakan saat musim kemarau. Hal ini didukung berdasarkan data-data dari narasumber, bahwasanya untuk meminimalisir kekurangan pasokan air di sawah tadah hujan agar petani tidak kekeringan ketika waktu tanam dimulai dan pasokan air berkurang ada bak penampung air hujan (Rahma, 2020).

**2.2. Analisa Hidrologi**

Kehadiran dan Gerakan air di dalam tanah disebut hidrologi (Ir. CD. Soemarto, 1986).

**2.2.1 Curah Hujan Rancangan**

**2.2.1.1 Curah Hujan Daerah**

Ada banyak metode-metode yang digunakan untuk menentukan tinggi curah hujan rata-rata di atas area tertentu dari angka-angka curah hujan di beberapa titik pos pencatat, pada perencanaan ini digunakan 2 stasiun, yaitu stasiun Pengajaran dan Wonosalam. Sehingga hujan wilayah untuk *Catchment Area* Embung Karangan diperoleh dari 2 stasiun tersebut yang dihitung menggunakan metode Poligon Thiessen. Data yang disajikan data hujan dari 2000 sampai dengan 2019. Dengan rumus metode Poligon Thiessen yaitu:

$$d = \sum_{i=1}^n A_i \cdot d_i / A \dots\dots\dots (2.1)$$

## 2.2.2 Pengujian data

Penting untuk mengetahui apakah data yang tersedia cukup untuk digunakan atau tidak. Oleh karenanya perlu dilakukan pengujian data. Dalam hal ini digunakan dua jenis pengujian yaitu:

### 2.2.2.1 Uji konsistensi

Bila data berubah akibat lingkungannya sendiri, maka data bersifat konsisten. Dengan ini dapat digunakan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS). Metode ini dipresentasikan dengan nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata dengan persamaan sebagai berikut (Kamiana, 2011) :

$$S_k^* = \sum(Y_i - \bar{Y}), \text{ dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (2.2)$$

$$S_k^{**} = S_k^* / S \quad (2.3)$$

$$S = \sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2 / (n-1)} \quad (2.4)$$

$$Q = \max |S_k^{**}| \quad (2.5)$$

$$R = \max S_k^{**} - \text{minimum } S_k^{**} \quad (2.6)$$

Dimana :

$Y_i$  = data hujan ke -  $i$

$\bar{Y}$  = rerata data hujan

$S$  = standar deviasi

$n$  = jumlah data

Setelah diketahui hasil nilai statistik di atas, maka nilai dari  $Q/n^{0.5}$  hitung serta  $R/n^{0.5}$  hitung dapat dicari. Hasil nilai perhitungan kemudian dibandingkan dengan nilai ijin. Apabila data lebih kecil dari nilai ijin, maka data dianggap konsisten.

**Tabel 2.1** Nilai Kritis  $Q$  dan  $R$ 

No	$Q/n^{0,5}$			$R/n^{0,5}$		
	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
$\infty$	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2,00

Sumber : Sri Harto Br, 1993

### 2.2.2.2 Uji Stasioner

Persamaan dari sebuah kelompok data dapat dikenali melalui uji stasioner.

Ada dua jenis pengujian stasioner seperti (Soewarno, 1995).

a. Uji kestabilan variasi berdasarkan Uji-F

$$F = N_1 \cdot S_1^2 \cdot (N_2 - 1) / N_2 \cdot S_2^2 \cdot (N_1 - 1) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan:

$F$  = nilai hitung uji-F.

$N_1$  = jumlah data kelompok 1.

$N_2$  = jumlah data kelompok 2.

$S_1$  = standar deviasi data kelompok 1.

$S_2$  = standar deviasi data kelompok 2.

Dengan derajat bebas ( $dk$ ):

b. Uji kestabilan nilai rata-rata berdasarkan Uji -t

$$t = X_1 - X_2 / \sigma (1/N_1 + 1/N_2)^{1/2} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\sigma = (N_1 S_1^2 + N_2 S_2^2 / N_1 + N_2 - 2)^{1/2} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

$t$  = nilai hitung uji-t.

$N_1$  = jumlah data kelompok 1.

$N_2$  = jumlah data kelompok 2.

$X_{r1}$  = nilai rata-rata data kelompok 1.

$X_{r2}$  = nilai rata-rata data kelompok 2.

$S_1$  = standar deviasi data kelompok 1.

$S_2$  = standar deviasi data kelompok 2.

Dengan derajat bebas  $dk = N_1 + N_2 - 2$

**Tabel 2.2** Nilai  $F$  kritis Untuk Level of Significant 5%

$dk_2 =$ $V_2$	$dk_1 = V_1$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161,40	199,50	215,70	224,60	230,20	234,00	236,80	238,90	240,50
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96
inf.	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88

Sumber : Soewarno, 1995.

### 2.2.3 Analisa Frekuensi

Untuk mengetahui perkiraan probabilitas dilakukan analisis frekuensi.

Sistematika perhitungan metode analisa frekuensi yaitu :

#### a. Parameter statistik

Beberapa cara untuk mengukur variasi besaran derajat antara lain:

- Nilai rata-rata ( $X_r$ )  

$$X_r = \Sigma x/n \dots\dots\dots (2.10)$$

- Standar deviasi ( $S_d$ )  

$$S_d = (\Sigma X_i - X_r / n-1)^{0,5} \dots\dots\dots (2.11)$$

- Koefisien kemencengan ( $C_s$ )  

$$C_s = n \Sigma (X_i - X_r)^3 / (n-1) (n-2) S_d^3 \dots\dots\dots (2.12)$$

- Koefisien kurtosis ( $C_k$ )  

$$C_k = n^2 \Sigma (X_i - X_r)^4 / (n-1) (n-2) (n-3) S_d^4 \dots\dots\dots (2.13)$$

- Koefisien varian ( $C_v$ )  

$$C_v = S_d / X_r \dots\dots\dots (2.14)$$

Sifat khas distribusi parameter yaitu

- Harga  $C_s = 0$  dan  $C_k = 3$  untuk distribusi Normal
- Harga  $C_s > 0$  untuk distribusi Log Normal
- Harga  $C_s = 1,139$  dan  $C_k = 5,402$  untuk distribusi Gumbel
- Harga  $C_s$  antara  $0 < C_s < 9$  untuk distribusi Log Pearson Type III (Kamiana, 2011)

#### b. Analisa Frekuensi

Penggunaan metode-metode tersebut digunakan persamaan :

- **Metode normal**

Persamaan untuk menganalisa metode normal (Soewarno, 1995).

$$X_t = X_r + K \cdot S_d \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

$X_t$  = nilai hujan/debit rencana dengan periode ulang T tahun, mm.

$X_r$  = nilai hujan rata-rata dari data hujan (X), mm.

K = faktor reduksi Gauss (tabel 2.3).

Sd = standar deviasi.

**Tabel 2.3** Nilai Variabel Reduksi Gauss

Periode Ulang T (tahun)	Peluang	K
1,001	0,999	-3,05
1,005	0,995	-2,58
1,010	0,990	-2,33
1,050	0,950	-1,64
1,110	0,900	-1,28
1,250	0,800	-0,84
1,330	0,750	-0,67
1,430	0,700	-0,52
1,670	0,600	-0,25
2,000	0,500	0,00
2,500	0,400	0,25
3,330	0,300	0,52
4,000	0,250	0,67
5,000	0,200	0,84
10,000	0,100	1,28
20,000	0,050	1,64
50,000	0,200	2,05
100,000	0,010	2,33
200,000	0,005	2,58
500,000	0,002	2,88
1.000,000	0,001	3,09

Sumber : Soewarno, 1995

- **Metode Log Normal**

Persamaan yang digunakan untuk menganalisis frekuensi dengan metode log normal (Soewarno, 1995).

$$\text{Log}X_T = \text{Log}X_r + K \cdot S_{\log X} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

$\text{Log} X_T$  = nilai log hujan/debit rencana dengan periode ulang T tahun, mm.

$\text{Log} X_r$  = nilai log hujan rata-rata dari data hujan (X), mm.

K = faktor reduksi Gauss (tabel 2.5).

$S_{\log X}$  = standar deviasi dari log X.

- **Metode EJ Gumbel Tipe I**

Persamaan yang digunakan untuk menganalisis frekuensi metode gumbel yaitu (Soewarno, 1995).

$$X_t = X_r + S / S_n (Y_t - Y_n) \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

$X_t$  = Nilai variat yang diharapkan terjadi.

$X_r$  = Nilai rata-rata hitung variat.

$S$  = Standar deviasi (simpangan baku).

$Y_t$  = Nilai reduksi variat dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu.

$Y_n$  = Nilai rata-rata dari reduksi variat. Nilainya tergantung jumlah data ( $n$ ).

$S_n$  = Deviasi standar dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu.

- **Metode Log Pearson Type III**

Persamaan yang digunakan untuk analisa frekuensi metode log pearson tipe III (Soewarno, 1995).

$$\text{Log } X = \text{Log } X_r + K \cdot S_{\text{Log}X} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\text{Log } X_r = 1/n \cdot \Sigma \text{Log } X_i \dots\dots\dots (2.19)$$

$$S_{\text{Log}X} = \sqrt{\Sigma(\text{Log } X_i - \text{Log } X_r)^2 / (n-1)} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$C_s = n \Sigma(\text{Log } X_i - \text{Log } X_r)^3 / (n-1)(n-2)(S_{\text{Log}X})^3 \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

$X$  = Curah Hujam (mm)

$\text{Log } X_r$  = Rerata  $\text{Log } X$

$S_{\text{Log}X}$  = Deviasi standar  $\text{Log } X$

$C_s$  = Koefisien kemencengan dari  $\text{log } X$

$K$  = Faktor frekuensi yang merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe distribusi frekuensi.

## 2.2.4 Uji Kecocokan Sebaran

Mengetahui kecocokan data untuk dijadikan perwakilan dalam distribusi statistik yang akan dihitung adalah tujuan dari uji kecocokan sebaran. Ada dua jenis uji kecocokan sebaran yaitu Uji kecocokan *Chi Square* dan *Smirnov Kolmogorov*.

### 1. Uji *Chi Square*

Rumus yang digunakan untuk mengukur parameter yang dapat dihitung (Soewarno, 1995):

$$X^2_h = \Sigma_i^G (O_i - E_i)^2 / E_i \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana:

$X^2_h$  = Parameter *Chi Square* terhitung.

G = Jumlah sub kelompok.

O<sub>i</sub> = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-i.

E<sub>i</sub> = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i.

**Langkah-langkah dalam uji *Chi Square* yaitu:**

- 1) Mengurutkan data dari yang terkecil ke yang terbesar.
- 2) Mengelompokkan data menjadi G sub group, minimal 4 data pada masing-masing sub group.
- 3) Menjumlahkan data yang diamati sebesar O<sub>i</sub>, pada setiap sub group.
- 4) Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E<sub>i</sub>.
- 5) Masing-masing sub group  $(O_i - E_i)^2$  dan  $(O_i - E_i)^2 / E_i$
- 6) Lalu jumlahkan seluruh G sub group dari nilai  $(O_i - E_i)^2 / E_i$  untuk menentukan nilai *chi* kuadrat hitung.
- 7) Tentukan derajat kebebasan  $dk = G - R - 1$  (nilai R=2, untuk distribusi normal dan binomial, dan nilai R=1, untuk distribusi Poisson)

**Interpretasi hasilnya ialah:**

- Bila peluang lebih kecil dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- Bila peluang yang didapatkan lebih kecil dari 1%, maka persamaan yang digunakan tidak dapat diterima
- Bila peluang yang didapatkan berada diantara 1% sampai dengan 5%, maka perlu dilakukan penambahan data.

## 2. Uji *Smirnov Kolmogorov*

Uji dengan sebutan uji kecocokan non parametrik ini disebut demikian, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Rumusnya ialah (Soewarno, 1995):

$$D = \max [P(X) - P''(X)]$$

Dimana:

$$\bullet P(X) = m / (n+1) \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\bullet F(t) = X - Xr / S \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\bullet P'(X) = f(t) = 1 - t \dots\dots\dots (2.25)$$

### 2.3 Intensitas CH

Intensitas curah hujan akan menentukan besarnya debit banjir perencanaan yang dinyatakan dalam rumus berikut (Ir.sosrodarsono & Tekada, 2003):

$$I = R_{24} / 24 \cdot [24/t]^{2/3} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R<sub>24</sub> = Curah Hujan Harian (mm)

T = Interval kedatangan banjir (jam)

### 2.4 Distribusi Curah Hujan Jam-Jaman

Metode Dr. Mononobe dengan persamaannya untuk perhitungan Intensitas Curah Hujan (Ir.sosrodarsono & Tekada, 2003):

$$I = R_{24} / T \cdot [T/t]^{2/3} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R<sub>24</sub> = Curah Hujan Harian (mm)

T = Interval kedatangan banjir (jam)

**Tabel 2.4 Harga-Harga Koefisien Limpasan Air Hujan**

Tanah Penutup	Kelompok hidrologis tanah	
	C	D
Hutan lebat (vegetasi dikembangkan dengan baik)	0,60	0,70
Hutan dengan kelembatan sedang (vegetasi dikembangkan dengan cukup baik)	0,65	0,75
Tanaman ladang dan daerah-daerah gundul (terjal)	0,75	0,80

Sumber : KP Bangunan Utama-02

## 2.5 Debit Banjir Rancangan

- **Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (HSS Nakayasu)**

Beberapa sungai di Jepang diselidiki oleh Nakayasu. Nakayasu menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai. Berikut rumusnya (Ir. CD. Soemarto, 1986)

$$Q_p = C \cdot A \cdot R_0 / 3,6 (0,3T_p + T_{0,3}) \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana:

$Q_p$  = Debit puncak banjir ( $m^3/detik$ )

$R_0$  = Hujan satuan (mm)

$T_p$  = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$  = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam).

$$Q_a = Q_p \cdot (t / T_p)^{2,4} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana:

$Q_a$  = Limpasan sebelum mencapai debit puncak. ( $m^3/detik$ ).

Bagian lengkung turun (decreasing limb).

$$Q_d > 0,3 Q_p \quad ; \quad Q_d = Q_p \cdot 0,3^{t - T_p / T_{0,3}} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$0,3 Q_p > Q_d > 0,3^2 Q_p ; Q_d = Q_p \cdot 0,3^{t-T_p+0,5T_{0,3}} / 1,5T_{0,3} \dots (2.31)$$

$$0,3^2 Q_p > Q_d ; Q_d = Q_p \cdot 0,3^{t-T_p+0,5T_{0,3}} / 2T_{0,3} \dots (2.32)$$

Dimana:

L = Panjang alur sungai (km)

$t_g$  = waktu konsentrasi (jam)

$t_r$  = 0,5 .  $t_g$  (jam)

$T_{0,3}$  =  $\alpha$  .  $t_g$  (jam)

## 2.6 Debit Andalan

Data debit bulanan atau harian sangat di perlukan untuk analisa ketersediaan air dengan periode pencatatan lebih dari 10 tahun. Gerakan air hujan dengan air limpasan merupakan konsep metode NRECA (Departemen Pekerjaan Umum, 1997)

### • Metode NRECA

Langkah perhitungan metode NRECA (Departemen Pekerjaan Umum, 1997):

- 1) Nama bulan Januari sampai Desember
- 2) Nilai hujan rata-rata bulana ( $R_b$ ) yang dihitung.
- 3) Nilai penguapan peluh potensial (PET)
- 4) Nilai tampungan kelengasan awal ( $W_o$ ). Nilai ini harus dilakukan coba-coba dan percobaan pertama dapat di ambil angka 600 (mm/bulan) di bulan januari.
- 5) Ratio tampungan tanah (*soil storage ratio*- $W_t$ ) dihitung dengan rumus :

$$W_i = W_o / N O M I N A L \dots (2.33)$$

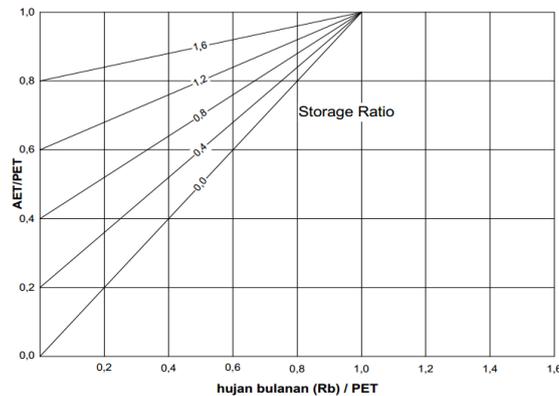
Nominal = 100 + 0,2  $R_a$

$R_a$  = Hujan tahunan (mm)

- 6) Ratio  $R_b$  / PET = kolom (2) : kolom (3)

- 7) Ratio AET/PET

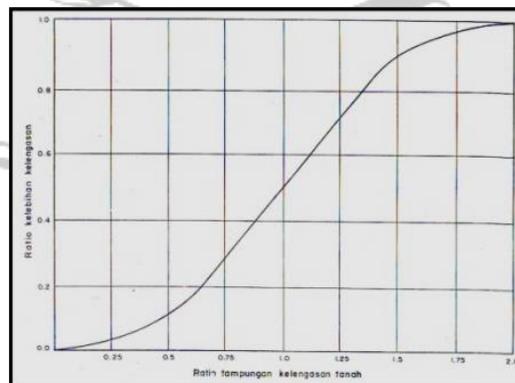
AET = penguapan peluh aktual yang diperoleh dengan gambar 2.1 nilainya tergantung dari ratio  $R_b / PET$ . (kolom 6) dan  $W_i$  (kolom 5)



**Gambar 2.1** Ratio  $R_b/PET$

Sumber : Direktorat Jendral SDA (2013)

- 8)  $AET = (AET/PET) \times PET \times \text{Koefisien reduksi}$   
 $= \text{Kolom (7)} \times \text{Kolom (3)} \times \text{Koefisien reduksi}$
- 9) Neraca Air =  $R_b - AET = \text{Kolom (2)} - \text{Kolom (8)}$
- 10) Ratio kelebihan kelengasan (*excess moisture*) yang dapat diperoleh sebagai berikut:
  - i. Bila neraca air (kolom 9) positif, maka ratio tersebut dapat diperoleh dari gambar 2.2, dengan memasukkan nilai tampungan kelengasan tanah ( $W_i$ ) dikolom 5.
  - ii. Bila neraca air negatif, ratio = 0



**Gambar 2.2** Rasio kelebihan kelengasan Tanah

Sumber: Direktorat Jendral SDA (2013)

- 11) Kelebihan kelengasan = ratio kelengasan x neraca air
- 12) Perubahan tampungan = Neraca – Kelebihan kelengasan
- 13) Tampungan air tanah =  $P_1 \times$  kelebihan kelengasan (kolom 12)
- $P_1$  = parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan (kedalaman 0 – 2), nilainya 0,1 – 0,5 tergantung pada sifat lulus air lahan.
- $P_1$  = 0,1 bila kedap terhadap air
- $P_1$  = 0,5 bila lulus terhadap air
- 14) Tampungan air tanah awal harus dicoba-coba dengan nilai awal = 2
- 15) Tampungan air tanah akhir = tampungan air tanah + tampungan air tanah awal
- 16) Aliran air tanah =  $P_2 \times$  tampungan air tanah akhir
- $P_2$  = parameter seperti  $P_1$  tetapi untuk lapisan tanah kedalaman 2-10 m
- $P_2$  = 0,9 bila kedap air
- $P_2$  = 0,5 bila lulus air
- 17) Larian langsung (*direct run-off*) = kelebihan kelengasan – tampungan air tanah
- 18) Aliran total = larian langsung (kolom 17) + aliran air tanah (kolom 18), (mm/0,5 bulan)
- Dalam  $m^3/0,5$  bulan = kolom (19) (mm) x 10 x luas daerah tadah hujan (Ha).

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

- Tampungan kelengasan = tampungan kelengasan bulan berikutnya (kolom 4)+ perubahan tampungan (kolom 12), semua dari bulan sebelumnya.

- Tampungannya air tanah = tampungannya air tanah bulan sebelumnya (kolom 15) – alirannya air tanah (kolom 16) semuanya dari bulan sebelumnya.

Diakhir perhitungannya sebagai patokannya, nilai dari tampungannya kelengkapan Januari harus mendekati tampungannya kelengkapan bulan Desember. Perhitungannya harus terus diulang apabila terjadi perbedaan cukup signifikan (>200 mm) diantaranya. Mulai dari bulan Januari dengan mengambil nilai tampungannya kelengkapan awal = tampungannya kelengkapan bulan Desember.

## 2.7 Analisa Kebutuhan Air

### 2.7.1 Kebutuhan Air Baku

Dalam menentukan kebutuhan air baku, erat hubungannya dengan jumlah penduduk yang akan dilayani sesuai dengan umur rencana embung. Dalam perencanaan debit kebutuhan air baku akan berbanding lurus dengan faktor pertumbuhan penduduk, sehingga perlu diperkirakan pertumbuhan jumlah penduduk disekitar.

Salah satu cara untuk menghitung pertumbuhan jumlah penduduk, dengan metode geometrik seperti yang diperkenalkan Adioetama dan Samosir (2010) (BPS Jakarta, 2010). Rumusnya ialah:

$$P_n = P_o (1 + r)^n \dots\dots\dots (2.34)$$

Dimana:

$P_n$  = jumlah penduduk pada tahun ke-n

$P_o$  = jumlah penduduk pada awal tahun data

$r$  = laju pertumbuhan penduduk, %

$n$  = periode tahun yang ditinjau

Penentuan jumlah kebutuhan air baku, mengacu pada kriteria kebutuhan air baku yang dikeluarkan oleh Puslitbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum (Bambang Triatmodjo, 2010). Kriteria kebutuhan air baku menurut Puslitbang Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, terbagi menjadi 2 macam yaitu :

### 1. Kriteria kebutuhan air domestik

Kriteria kebutuhan air yang digunakan pada tempat – tempat hunian pribadi untuk memenuhi kebutuhan sehari – hari seperti minum, memasak, mencuci, dan kebutuhan rumah tangga lainnya.

### 2. Kriteria kebutuhan air non domestik

Kriteria kebutuhan air yang dimanfaatkan untuk diluar kebutuhan rumah tangga atau digunakan pada tempat – tempat umum.

**Tabel 2.5** Kriteria Perencanaan Kebutuhan Air Bersih

NO	URAIAN	SATUAN	KATEGORI KOTA BERDASARKAN JUMLAH PENDUDUK (jiwa)				
			>1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	> 20.000
			Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
1	Konsumsi Unit Sambungan Rumah Tangga (SR)	l/jiwa/hr	> 150	120 - 150	90 - 120	80 - 120	60 - 80
2	Konsumsi Unit Hidran Umum (HU)	l/jiwa/hr	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40
3	Konsumsi Unit Non Domestik	%	35 - 40	30 - 35	25 - 30	20 - 25	10 - 20
4	Kehilangan Air	%	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30
5	Faktor Hari Maksimum	*harian	1,15 - 1,25	1,15 - 1,25	1,15 - 1,25	1,15 - 1,25	1,15 - 1,25
6	Faktor Jam Puncak	*harian	1,75 - 2,00	1,75 - 2,00	1,75 - 2,00	1,75	1,75
7	Jumlah Jiwa Per SR	jiwa	5	5	5	5	5
8	Jumlah Jiwa Per HU	jiwa	100	100	100	100 - 200	200
9	Sisa Tekan di Penyediaan Distribusi	m	10	10	10	10	10
10	Jam Operasi	jam	24	24	24	24	24
11	Volume Reservoir (% Kebutuhan Jam Puncak)	%	15 - 25	15 - 25	15 - 25	15 - 25	15 - 25
12	SR : HU	%	80 : 20	80 : 20	80 : 20	70 : 30	70 : 30

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996

## 2.7.2 Kebutuhan Air Irigasi

### 2.7.2.1 Pola Tata Tanam

Suatu pola penanaman dari beberapa jenis tumbuhan dalam kurun waktu 1 tahun yang merupakan gabungan urutan tumbuhan. Bermanfaat untuk mengoptimalkan pemanfaatan air dan menambah intensitas luas tanam. Pola tata tanam disesuaikan dengan kuantitas air yang tersedia.

**Tabel 2.6** *Macam – Macam Pola Tanam*

No	KETERSEDIAAN AIR UNTUK JARINGAN IRIGASI	POLA TATA TANAM DALAM SATU TAHUN
1	Tersedia air cukup banyak	Padi – Padi – Palawija
2	Tersedia air dalam jumlah cukup	Padi – Padi – Bera
		Padi – Palawija – Palawija
3	Daerah yang cenderung kekurangan air	Padi – Palawija – Bera
		Palawija – Padi - Bera

Sumber : Shidarta, 1997.

### 2.7.2.2 Koefisien Tanaman (kc)

Setiap tanaman memiliki nilai koefisien tanamannya masing – masing. Yang mempengaruhi perbedaan nilai koefisien tanaman adalah jenis tanaman dan fase pertumbuhan tanaman tersebut. Nilai koefisien tanaman baik padi ataupun palawija ditampilkan pada tabel berikut:

**Tabel 2.7** *Koefisien Tanaman Padi*

Bulan	Nedeco/ Prosida		FAO	
	Varietas <sup>2</sup> Biasa	Varietas <sup>3</sup> Unggul	Varietas biasa	Variaetas Unggul
0,5	1,20	1,20	1,10	1,10
1	1,20	1,27	1,10	1,10
1,5	1,32	1,33	1,10	1,05
2	1,40	1,30	1,10	1,05
2,5	1,35	1,30	1,10	0,95
3	1,24	0	1,05	0
3,5	1,12		0,95	
4	0 <sup>4</sup>		0	

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP – 01, 2002.

**Tabel 2.8 Koefisien Tanaman Palawija**

Tanaman	Jangka tumbuh/hari	½ bulan No.															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Kedelai	85		0,5	0,75	1,0	1,0	0,82	0,45*									
Jagung	80		0,5	0,59	0,96	1,05	1,02	0,95*									
Kacang tanah	130		0,5	0,51	0,66	0,85	0,95	0,95	0,95	0,55	0,55*						
Bawang	70		0,5	0,51	0,69	0,90	0,95*										
Buncis	75		0,5	0,64	0,89	0,95	0,88										
Kapas	195		0,5	0,5	0,58	0,75	0,91	1,04	1,05	1,05	1,05	0,78	0,65	0,65	0,65		

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP – 01, 2002.

### 2.7.2.3 Kebutuhan Air Irigasi

Dihitung dengan rumus (Bambang Triatmojo, 2013):

$$KAI = ( Etc + IR + WLR + P + Re / IE ) \times A \dots\dots\dots (2.35)$$

Dimana:

KAI = Kebutuhan air irigasi (liter/det)

Et = Kebutuhan air konsumtif (mm/hari)

IR = Kebutuhan air irigasi ditingkat persawahan (mm/hari)

WLR = Kebutuhan air untuk mengganti lapisan air (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

Re = Hujan efektif (mm/hari)

IE = Edisiensi irigasi (%)

A = Luas areal irigasi (ha)

### 2.7.2.4 Kebutuhan Air Konsumtif

Menggunakan persamaan (Bambang Triatmojo, 2013):

$$Etc = Eto \times kc \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana:

Etc = Kebutuhan air konsumtif (mm/hari)

Eto = Evapotranspirasi (mm/hari)

Kc = Koefisien tanaman.

### 2.7.2.5 Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan

Dalam memperhitungkan kebutuhan air selama penyimpanan lahan, dapat digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra (Standar Perencanaan Irigasi KP-01, 1986), sebagai berikut:

$$IR = M ( e^k / e^k - 1 ) \dots\dots\dots (2.37)$$

Dimana:

IR = Kebutuhan air irigasi ditingkat persawahan (mm/hari)

M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang telah dijenuhkan  $E_o + P$  (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

$E_o$  = Evaporasi air terbuka (=1,1 x  $E_o$ ) (mm/hari)

k = M (T/S)

e = Koefisien

### 2.7.2.6 Kebutuhan Air untuk Mengganti Lapisan Air (WLR)

Berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi KP-01, 1986. Diterapkan kebutuhan air untuk mengganti lapisan air. 500 mm/bulan (3,3 mm/hari selama ½ bulan) selama sebulan dan dua bulan setelah transplantasi adalah besaran kebutuhan air untuk penggantian lapisan air.

### 2.7.2.7 Perkolasi (P)

Sifat tanah umumnya tergantung pada kegiatan pemanfaatan atau pengolahan tanah berkisar antara 1 – 3 mm/hari sehingga laju perkolasi sangat bergantung pada sifat tanah. (Bambang Triatmojo, 2013).

### 2.7.2.8 Curah Hujan Efektif

Berikut persamaanya (Bambang Triatmojo, 2013):

$$Re = 0,7 \times 1/15 (R_{80}) \dots\dots\dots (2.38)$$

Dimana:

Re = Curah hujan efektif (mm/hari)

$R_{80}$  = Curah hujan yang kemungkinan tidak terpenuhi 20% (mm)

$R_{80}$  didapat dari urutan data dengan rumus Harza:

$$m = n/5 + 1 \dots\dots\dots (2.39)$$

Dimana:

m = Rangkaian dari urutan terkecil

n = Jumlah tahun pengamatan

### 2.7.2.9 Efisiensi irigasi (EI)

Sistem faktor penentu utama dalam unjuk kerja suatu system jaringan irigasi yaitu Efisiensi irigasi. Efisiensi pengaliran yang pada umumnya terjadi di jaringan utama dan efisiensi jaringan sekunder (dari bangunan pembagi sampai petak sawah). Sebagian dari jumlah air yang diambil akan terjadi kehilangan atau penyusutan baik di saluran maupun di petak-petak sawah merupakan salah satu asumsi efisiensi irigasi. Kegiatan eksploitasi, evaporasi dan rembesan adalah yang dapat menyebabkan penyusutan atau kehilangan ini. (Bambang Triatmojo, 2013).

### 2.7.2.10 Luas Areal Irigasi

Luas sawah yang akan diairi merupakan luas areal irigasi. Peta dan luasan daerah irigasi merupakan data areal irigasi yang bisa didapatkan dari Dinas Pengairan (Bambang Triatmojo, 2013).

## 2.8 Neraca Air atau Simulasi Tampungan

Untuk mengetahui apakah air yang tersedia cukup untuk memenuhi kebutuhan air baku, maka perlu perhitungan menggunakan neraca air atau simulasi tampungan (Bertha, 2007):

1. Pola distribusi air baku
2. Keandalan tampungan embung.

- Penelusuran banjir

Hidrograf *Outflow* sangat diperlukan dalam pengontrolan banjir. Untuk mengetahui karakteristiknya, harus dilakukan penelusuran banjir. Faktor sungai yang tak seragam, akan

mempengaruhi perubahan *Inflow* (I) dan *Outflow* (O). (Ir. CD. Soemarto, 1986).

$I > O$  tampungan embung naik, elevasi muka air embung naik.

$I < O$  tampungan embung turun, elevasi muka air turun.

Pada penelusuran banjir berlaku persamaan kontinuitas

$$I - O = \Delta S \dots\dots\dots (2.40)$$

Dimana:

$\Delta S$  = perubahan tampungan air di embung

## 2.9 Perencanaan Embung

### 2.9.1 Rencana Tubuh Embung

- **Lebar Puncak**

Lebar puncak tubuh embung diambil sebagai berikut

**Tabel 2.9** *Lebar Puncak Embung*

Type	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: Ibnu Kasiro, dkk, 1997

- **Kemiringan Lereng**

Kemiringan lereng urugan harus ditentukan sedemikian rupa agar tetap stabil terhadap longsor. Dengan cara mempertimbangkan berbagai hal dan diambil koefisien gempa sebesar 0,15g akan diperoleh kemiringan yang disarankan seperti tabel berikut:

**Tabel 2.10** Kemiringan Lereng Urugan untuk Tinggi Maksimum 10.00 M

Material Urugan	Material Utama	Kemiringan Lereng Vertikal : Horizontal	
		Hilir	Hulu
1.Urugan homogen	CH	1 : 3	1 : 2,25
	CL		
	SC		
	GC		
	GM		
	SM		
2.Urugan Majemuk			
Urugan batu dengan inti lempung atau dinding diafragma	Pecahan batu	1 : 1,50	1 : 2,50
Kerikil – kerikil dengan inti lempung atau dinding diafragma	Kerikil - Kerikil	1 : 2,50	1 : 7,50

Sumber: Ibnu Kasiro, dkk, 1997.

- **Tinggi Jagaan**

Merupakan jarak vertikal antara elevasi puncak bendungan dengan elevasi muka air saat keadaan banjir. Maksud dan tujuan dari tinggi jagaan sendiri, yaitu sebagai komponen penunjang keamanan pada bendungan dari luapan air banjir. Besar tinggi jagaan bergantung dari type tubuh bendungan, seperti dalam tabel berikut:

**Tabel 2.11 Tinggi Jagaan Embung**

Tipe tubuh embung	Tinggi Jagaan (m)	Sketsa Penjelasan
Urugan homogen dan majemuk	0,50	
Pasangan Batu/Beton	0,00	
Komposit	0,50	

Sumber: Ibnu Kasiro, dkk, 1997.

- **Tinggi Tubuh Embung**

Tinggi tubuh embung sebesar tinggi muka air kolam pada saat kondisi (= kapasitas tampungan desain) ditambah dengan tampungan banjir dan tinggi jagaan

$$H_d = H_k + H_b + H_f \dots\dots\dots (2.41)$$

Dimana:

$H_d$  = 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)

## 2.9.2 Desain Bangunan Pelimpah

### 1. Tipe bangunan pelimpah (*Spillway*)

Bangunan pelimpah direncanakan menggunakan type Ogee, dengan persamaan lengkung pelimpah bagian downstreamnya sebagai berikut:

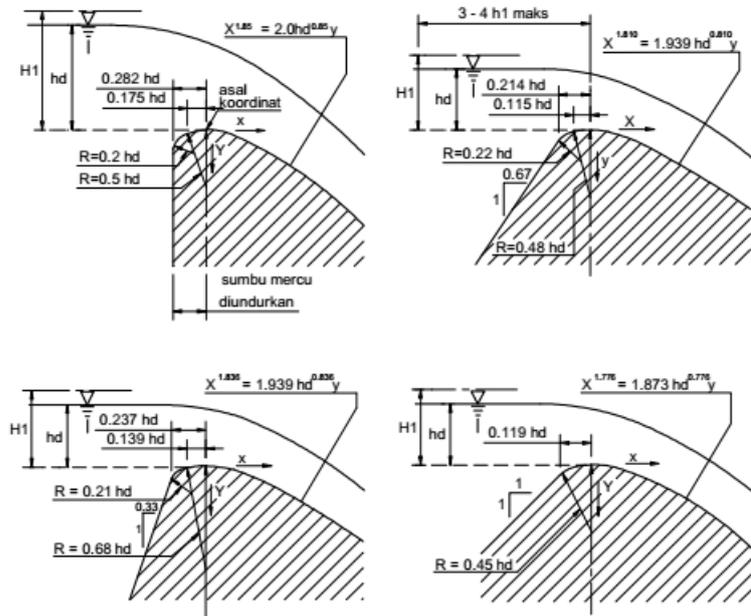
$$Y / H_o = 1 / K \cdot (X/H_o)^n \dots\dots\dots (2.42)$$

Dimana X dan Y merupakan titik koordinat permukaan hilir dan  $H_o$  adalah tinggi energi rencana mercu. Harga K dan n disajikan dalam Tabel dibawah ini:

**Tabel 2.12 Harga k dan n**

Kemiringan Permukaan Hilir	k	n
Vertikal	2	1,85
3:1	1,936	1,836
3:2	1,939	1,810
1:1	1,873	1,776

Sumber: KP-02, 1986, hal 47



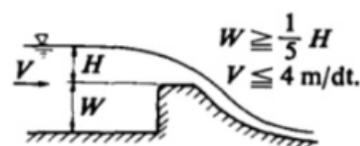
Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2010.

**Gambar 2.3** Bentuk Mercu Pelimpah Tipe Ogee

**2. Perhitungan Hidraulis Pelimpah**

- **Saluran Pengarah**

Fungsi dari saluran pengarah yakni sebagai penuntun dan pengarah agar aliran air dalam kondisi hidrolika yang baik.



Sumber: Suyono dan Kensaku, 2016

**Gambar 2.4** Saluran Pengarah Aliran

Harga h dapat dicari dengan rumus (Sosrodarsono dan Takeda, 1977):

$$Q = C B H^{3/2} \dots\dots\dots (2.43)$$

Dimana:

Q = Debit (m<sup>3</sup>/detik)

C = Koefisien limpasan (2,0 – 2,1)

$B$  = Panjang Pelimpah (m)

$H$  = Tinggi air di atas mercu pelimpah (m)

- **Saluran Pengatur**

Bagian ini sebagai pengatur aliran debit yang melintas pada bangunan pelimpah. Dalam perencanaan ini, saluran pengatur dipilih tipe ambang bebas dengan penampang persegi. Persamaan yang digunakan sebagai berikut :

$$B_{\text{eff}} = B - 2(n.K_p + K_a).H_1 \dots\dots\dots (2.44)$$

$$Q = C_d.2/3.(2/3.g)^{1/2}.B_{\text{eff}}.H_1^{3/2} \dots\dots\dots (2.45)$$

$$C_d = C_0 . C_1 . C_2 \dots\dots\dots (2.46)$$

Dimana:

$Q$  = Debit (m<sup>3</sup>/dt)

$C_d$  = Koefisien debit efektif

$C_0$  = Konstanta 1,30

$C_1$  = Fungsi  $P/H_d$  dan  $H_1/H_d$

$C_2$  = Faktor koreksi permukaan hulu

$g$  = Percepatan gravitasi (9,81 m/dt<sup>2</sup>)

$B_{\text{eff}}$  = Lebar efektif mercu (m)

$B$  = Lebar pelimpah rencana (m)

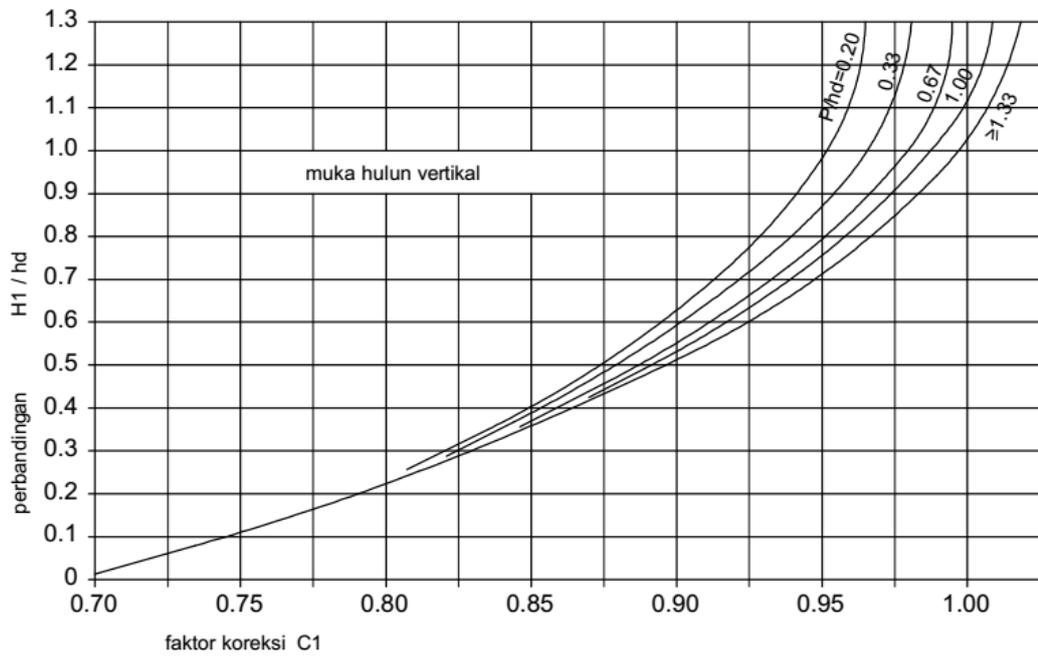
$n$  = Jumlah pilar

$k_p$  = Koefisien kontraksi pilar

$k_a$  = Koefisien kontraksi pangkal bendung

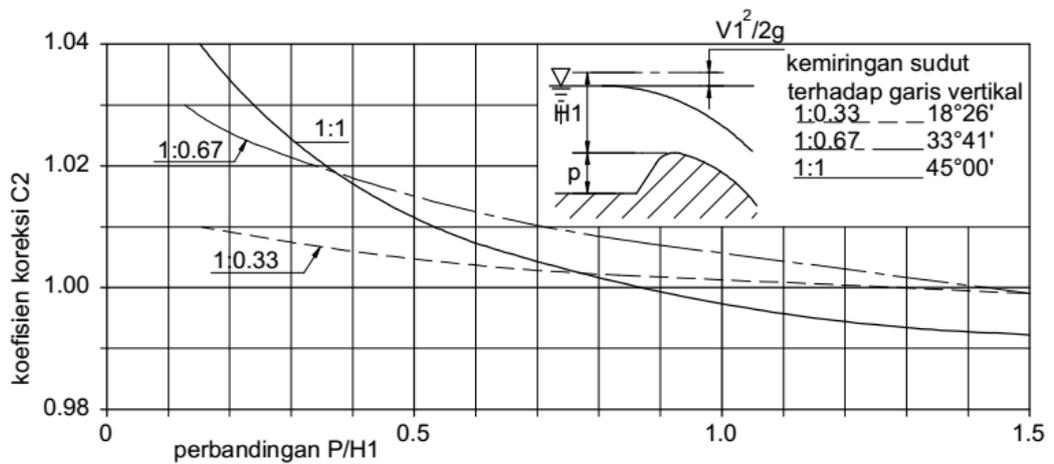
$H_1$  = Tinggi energi (m)

*Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2010.*



Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2010.

**Gambar 2.5** Grafik Koefisien  $C1$



Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2010

**Gambar 2.6** Grafik Koefisien  $C2$

Koefisien kontraksi pilar		Kp
untuk pilar berujung persegi dengan sudut dibulatkan		0.02
untuk pilar berujung bulat		0.01
untuk pilar berujung runcing		0
Koefisien kontraksi abutment		Ka
untuk pangkal persegi	dengan hulu pada 90°	0.2
untuk pangkal bulat	dengan hulu pada 90°	0.1
untuk pangkal bulat	dimana $r > 0.5 H_1$ & sudut 45°	0

Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2010.

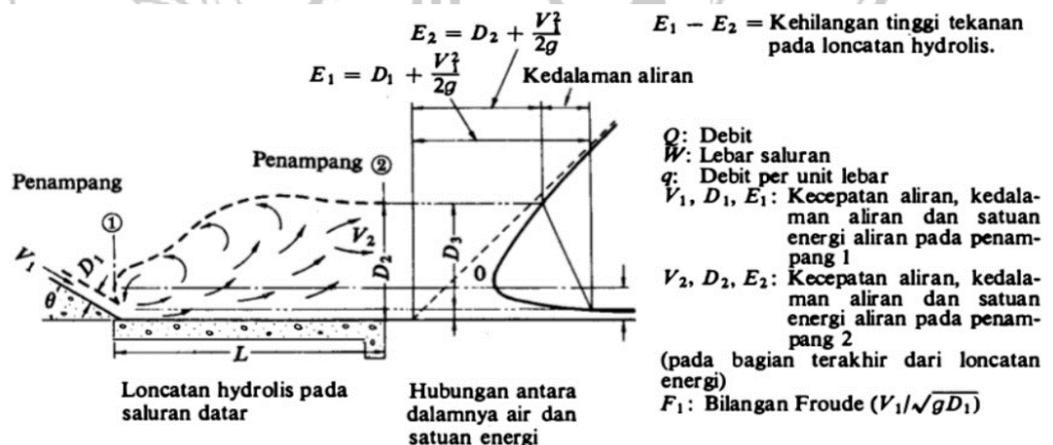
Gambar 2.7 Harga-Harga Koefisien Kp dan Ka

### 3. Perhitungan Hidraulis Peredam Energi

Untuk meredam energi dan mencegah gerusan, diperlukan bangunan peredam energi. Peredam energi tipe kolam olakan datar merupakan bentuk peredam energi yang digunakan dalam perencanaan ini. Ada 4 tipe peredam energi kolam olakan diantaranya:

#### 1. Kolam Olakan Datar Tipe I

Peredam energi jenis ini cocok untuk type debit aliran yang relative kecil dengan bilangan Froude  $< 1,7$ . Bentuknya berupa kolam olakan dengan dasar datar, peredaman energi terjadi saat aliran yang meluncur dari bangunan pelimpah berbenturan secara langsung dengan dasar bangunan peredam energi yang datar.



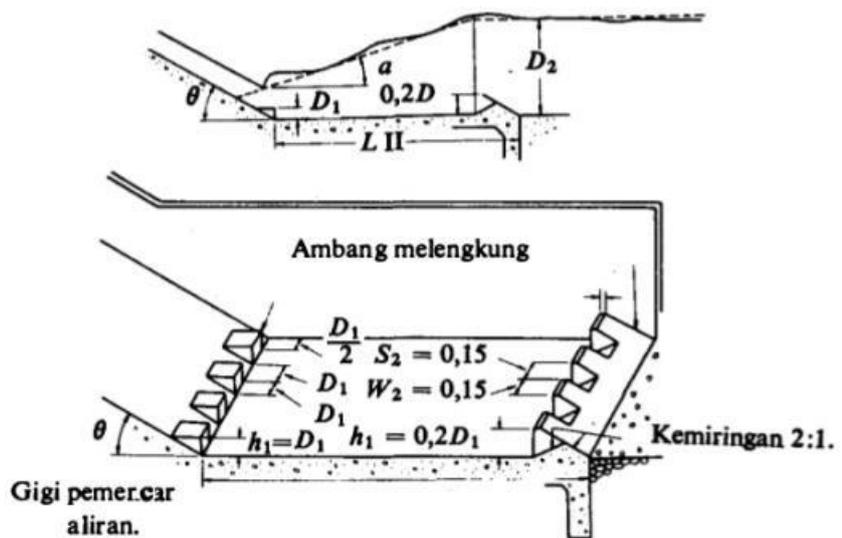
Sumber: Suyono dan Kensaku, 2016

Gambar 2.8 Kolam Olakan Datar Tipe I

## 2. Kolam Olakan Datar Tipe II

Peredam energi jenis ini cocok untuk type debit aliran yang besar, dengan kriteria  $Q > 45 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ , tekanan hidrostatik yang besar juga  $> 60 \text{ m}$ , serta bilangan froude  $> 4,5$ .

Penampang memanjang loncatan hidrolis.



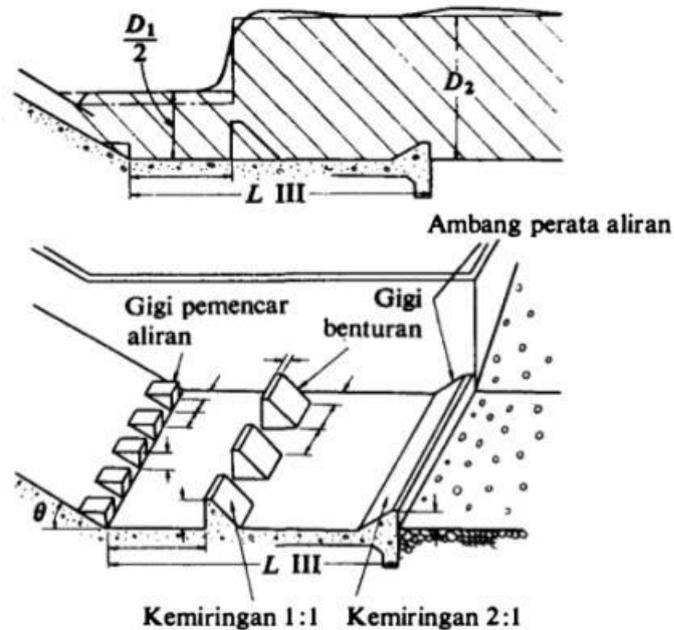
Sumber: Suyono dan Kensaku, 2016

Gambar 2.9 Kolam Olakan Datar Tipe II

## 3. Kolam Olakan Datar Tipe III

Peredam energi jenis ini mirip dengan kolam olakan type II, hanya saja lebih cocok untuk type debit aliran yang agak kecil dengan kriteria  $Q < 18,5 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ , tekanan hidrostatik rendah, kecepatan  $V < 18 \text{ m}/\text{dt}$ , serta bilangan Froude  $> 4,5$ .

Penampang memanjang loncatan hidrolis (dalam keadaan elevasi permukaan air sungai sama dengan elevasi loncatan hidrolis)

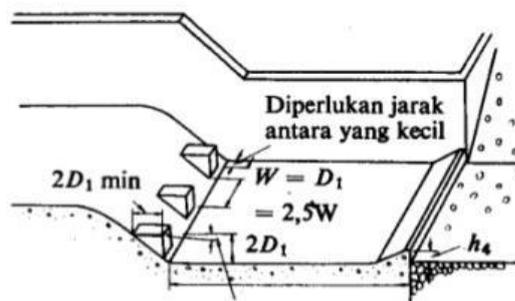


Sumber: Suyono dan Kensaku, 2016

**Gambar 2.10** Kolam Olakan Datar Tipe III

#### 4. Kolam Olakan Datar Tipe IV

Peredam energi type ini cocok untuk mengalirkan debit besar per unit lebar, dengan tekanan hidrostatis yang lebih rendah, yakni aliran dengan keadaan super kritis yang bilangan Froudenya berada diantara 2,5 sampai 4,5.



Puncak gigi pemencar aliran hendaknya dibuat 5° condong ke hilir.

Jarak antara dua gigi pemencar = 2,5 W

Sumber: Suyono dan Kensaku, 2016

**Gambar 2.11** Kolam Olakan Datar Tipe IV

Dalam penentuan type kolam olakan, dasar pemilihannya dengan menggunakan bilangan Froude, yang ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Fr = V_1 / (g \cdot D_1)^{1/2} \dots\dots\dots (2.47)$$

Dimana:

Fr = Bilangan Froude

V<sub>1</sub> = kecepatan aliran pada penampang, m/dt

D<sub>1</sub> = kedalaman air dibagian hulu kolam olak, m

G = percepatan gravitasi, 9,81 m/dt<sup>2</sup>

Kedalam air pada bagian hilir kolam olakan dapat diperoleh dari rumus berikut (Suyono S. 1977 ; hal 220):

$$D_2/D_1 = 1/2 \cdot [(1 + 8F^2)^{1/2} - 1] \dots\dots\dots (2.48)$$

Dimana:

D<sub>1</sub> dan D<sub>2</sub> = Kedalaman air (m)

Sedangkan untuk menentukan Panjang kolam olakan digunakan persamaan sebagai berikut :

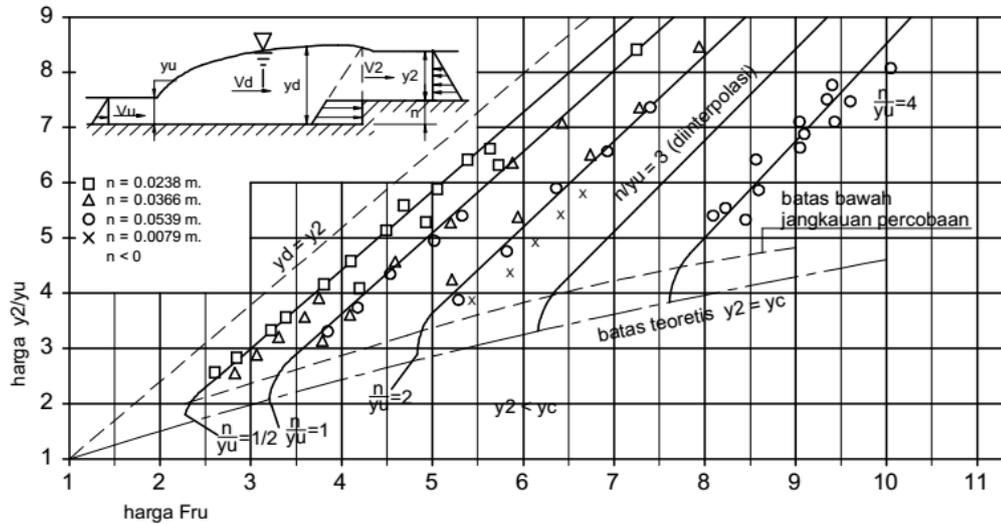
$$L_j = 5 \cdot (n + Y_2) \dots\dots\dots (2.49)$$

Dimana:

L<sub>j</sub> = Panjang kolam, m

n = Tinggi ambang ujung, m

Y<sub>2</sub> = Kedalaman air diatas ambang, m



Sumber: Suyono dan Kensaku, 2016

**Gambar 2.12** Grafik Hubungan Fr dan Y2/Yu

**2.9.3 Analisis Stabilitas Embung**

Gaya – gaya dan muatan yang diperlukan:

**a. Berat Sendiri Bangunan**

Bahan yang digunakan merupakan faktor utama yang mempengaruhi berat sendiri bangunan tersebut.

$$W = A \cdot \gamma \cdot B \dots\dots\dots (2.50)$$

Dimana:

W = gaya vertikal akibat berat sendiri bangunan (ton)

A = luas bidang bangunan yang ditinjau (m<sup>2</sup>)

γ = berat jenis bahan (t/m<sup>3</sup>)

B = lebar persatuan (m)

Tabel 2.13 Harga Berat Jenis Bahan Bangunan

Bahan	Kg/m <sup>3</sup>
Baja	7.850
Batu galian, batu kali (tidak dipadatkan)	1.500
Batu koral	1.700
Besi tuang	7.250
Beton	2.200
Beton bertulang	2.400
Kayu (Kelas I)	1.000
Kayu (Kelas II)	800
Kerikil	1.650
Mortel/Adukan	2.150
Pasangan bata	1.700
Pasangan batu	2.200
Pasir (kering udara sampai lengas)	1.600
Pasir (basah)	1.800
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lengas)	1.700
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000

Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-06, 2010.

#### b. Reaksi Pondasi

Reaksi pondasi boleh diandalkan berbentuk trapezium dan tersebar secara linear.

$$P = \Sigma(W) / A + \Sigma(W)e / I m \dots\dots\dots (2.51)$$

Dimana:

P = Tekanan vertical pondasi

$\Sigma(W)$  = Jumlah gaya vertical, termasuk tekanan ke atas kecuali reaksi pondasi.

A = Luas dasar pondasi (m<sup>2</sup>)

e = eksentrisitas pembebanan atau jarak dari pusat gravitasi dasar (*Base*) sampai titik potong resultan dengan dasar.

I = Momen kelembaban dasar dari sekitar pusat gravitasi.

$m$  = Jarak dari titik pusat luas dasar sampai ke titik dimana tekanan diinginkan.

Untuk dasar segi empat dengan Panjang  $L$  dan lebar  $l$  1,0 m,  $I=L^3/12$  dan  $A=1$ , rumusnya (Prastumi,2008):

$$P = \Sigma(W) / A + \{1 + 12e/l^2 m\} \dots\dots\dots (2.52)$$

$$m' = m'' = \frac{1}{2} L$$

- Tekanan vertikal maksimum pondasi pada ujung bangunan:

$$P' = \Sigma(W) / L [1 + 6l/L] \dots\dots\dots (2.53)$$

- Tekanan vertikal minimum pondasi pada ujung yang lain:

$$P'' = \Sigma(W) / L [1 - 6l/L] \dots\dots\dots (2.54)$$

Apabila harga  $I$  dari persamaan lebih besar dari  $1/6L$  maka tidak dihasilkan tekanan negatif pada ujung bangunan. Tarikan seperti itu tidak diijinkan karena akan menyebabkan konstruksi terguling. Sehingga, harus diusahakan membuat reaksi pondasi positif di ujung-ujungnya atau tekanan negatif = 0 dan tekanan maksimum lebih kecil dari daya dukung ijin tanah di bawah pondasi. .

### c. Gaya Gempa

Gaya horizontal terjadi karena gempa diambil sama dengan berat bangunan dikalikan dengan intensitas gempa (Prastami, 2008).

$$H_e = e \times V \dots\dots\dots (2.55)$$

Dimana:

$H_e$  = Gaya horizontal karena gempa (kN)

$e$  = Intensitas gempa (=0,1 ~ 0,15)

$V$  = Gaya vertikal karena berat sendiri bangunan (kN)

## 2.10 Kontrol Stabilitas

Stabilitas konstruksi ditinjau terhadap bahaya geser, guling, dan daya dukung tanah.

### 2.10.1 Tinjauan Terhadap Guling

Agar konstruksi aman terhadap guling, maka momen tahanan harus lebih besar dari momen guling. Keamanan terhadap bahaya guling (Soedibyo, 2003).

$$M_T / M_G \geq F_k \dots\dots\dots (2.56)$$

Dimana:

$M_T$  = Momen tahanan

$M_G$  = Momen guling

$F_k$  = Faktor keamanan terhadap guling

$$S_f = \Sigma M_{AV} / \Sigma M_{Ah} \geq 1,50 \dots\dots\dots (2.57)$$

Dimana:

$S_f$  = Angka keamanan terhadap guling

$M_{av}$  = Momen vertikal total

$M_{ah}$  = Momen horizontal total

Bendungan tidak akan terguling bila:

$$e = \left| \Sigma M / \Sigma V - B / 2 \right| < B / 6 \dots\dots\dots (2.58)$$

Dimana:

$e$  = Eksentrisitas, jarak antar titik tangkap gaya R dengan titik tengah pondasi  $T = DT$ .

$B$  = Lebar Pondasi

$M$  = Momen total

$V = V_t$  = Gaya vertikal total.

### 2.10.2 Tinjauan Terhadap Geser

Momen tahanan harus lebih besar daripada momen geser apabila menginginkan konstruksi yang aman terhadap gaya geser. (Soediby, 2003)

$$S_f = f \cdot \Sigma V + C \cdot A / \Sigma H \geq S_f' \dots\dots\dots (2.59)$$

Dimana:

$S_f$  = Angka keamanan terhadap geser

$F$  = Koefisien gesekan

$\Sigma V$  = Jumlah gaya vertikal pada konstruksi

- EH = Jumlah gaya horizontal pada konstruksi  
 Sf' = faktor keamanan  
 A = Luas permukaan pondasi

**Tabel 2.14** Harga Koefisien Gesekan

Bahan	f
Pasangan batu pada pasangan batu	0,60 – 0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,50
Pasir	0,40
Lempung	0,30

Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-06, 2002.

### 2.10.3 Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

Pada aspek tegangan tanah, semakin besar gaya vertikal semakin besar juga total tegangan yang akan ditimbulkan terhadap tanah. (Soedibyo, 2003).

$$Q_u = (C \cdot N_c + \gamma \cdot d \cdot N_q - 1 + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma) \dots\dots\dots (2.60)$$

Dimana:

- Fk = Faktor keamanan  
 d = Kedalaman pondasi  
 c = Koefisien  
 $\gamma$  = Berat jenis tanah jenuh  
 $\phi$  = Sudut geser dalam

**Tabel 2.15** Harga Koefisien Daya Dukung Tanah Metode Terzaghi

$\theta$	$N_c$	$N_\tau$	$N_q$
0	5,71	0,00	1,00
5	7,32	0,00	1,64
10	9,64	1,20	2,70
15	12,80	2,40	4,44
20	17,70	4,60	7,43
25	25,10	9,20	12,70
30	37,20	20,00	22,50
35	57,80	44,00	41,40
40	95,60	100,14	81,20

Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-06, 2002.

