

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Evapotranspirasi

Proses fisik yang mengubah suatu cairan atau bahan padat menjadi gas disebut evaporasi, sedangkan penguapan air terjadi melalui tumbuhan disebut transpirasi. Jika penguapan dari tanah atau permukaan air dan transpirasi terjadi bersama maka gabungan kedua proses tersebut dinamakan evapotranspirasi. Apabila evapotranspirasi yang terjadi tanpa disertai faktor pembatas air maka disebut sebagai evapotranspirasi potensial. Data yang diperlukan adalah :

1. Temperatur (t)
2. Kelembaban udara (RH)
3. Penyinaran matahari (n/N)
4. Kecepatan angin (u)

Data klimatologi yang dipakai untuk analisa minimal 10 (Sepuluh) tahun pencatatan dari stasiun terdekat yang ada di daerah studi. Untuk memperkirakan besarnya evapotranspirasi digunakan rumus Standard FAO yang disederhanakan dengan rumus sebagai berikut (Soewarno, 2000:163) :

$$ET_o = \frac{\delta^* R_n / (L) + \tau [(900/T_k) U_2 (e_s - e_a)]}{\delta + \tau(1 + 0,34 U_2)} \quad (2-1)$$

dengan :

$ET_o$  = Evapotranspirasi Potensial (mm/hari)

$\delta$  = Kemiringan kurva tekanan uap terhadap temperatur (kPa/°C)

$$\delta = 4089 \times e_s / (T + 237,3)^2$$

L = Panas laten untuk penguapan (MJ/kg)

$$L = 2,501 - (2,361 \times 10^{-3})T$$

$\tau$  = Konstanta psikrometrik ( $\tau = 0,06466 \text{ kPa/}^\circ\text{C}$ )

$R_n$  = Radiasi bersih (MJ/m<sup>2</sup>/hari)

$$R_n = R_s (1 - \alpha) - \beta \cdot T_k^4 \cdot (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) (0,10 + 0,90 \cdot n/N)$$

$R_s$  = Radiasi global (MJ/m<sup>2</sup>/hari)

$$R_s = (R_a (0,25 + 0,50 \cdot n/N)) / 0,408$$

$U_2$	= Kecepatan angin setinggi 2 m (m/det)
$e_a$	= Kecepatan uap aktual (kPa)
	<b><math>e_a = e_s \times RH</math></b>
$e_s$	= Kecepatan uap jenuh (kPa)
	<b><math>e_s = 0,611 \exp [17,27 T/(T + 273,3)]</math></b>
RH	= Kelembaban relatif (%)
$R_a$	= Radiasi ekstra teresterial (mm/hari)
$\alpha$	= Albedo (untuk air = 5 %)
n/N	= Durasi penyinaran matahari relatif (%)
$\beta$	= Konstanta Stefan-Boltzman = $4,90 \times 10^{-9} \text{ MJ/m}^2/\text{K}^4/\text{hari}$
$T_k$	= Temperatur udara ( $^{\circ}\text{K}$ ), ( $^{\circ}\text{K} = 273,15 + ^{\circ}\text{C}$ )
T	= Temperatur udara ( $^{\circ}\text{C}$ )
900	= Konstanta ( $\text{kg}^{\circ}\text{K}/\text{kJ}$ )

Persamaan standar FAO ini digunakan untuk mencari evapotranspirasi dengan pertimbangan karena metode ini banyak menggunakan variabel terukur, seperti faktor durasi penyinaran matahari, kelembaban relatif, kecepatan angin, selain itu juga persamaan ini disempurnakan pada tahun 1991 sehingga diharapkan ketelitian dari pemakaian metode tersebut dapat mendekati kenyataan.

## 2.2. Analisa Curah Hujan

Tujuan analisis curah hujan adalah untuk menghitung curah hujan efektif yang digunakan untuk menunjang kebutuhan air irigasi. Hujan yang terjadi tidak sepenuhnya digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhannya. Apabila intensitas hujan yang turun terlalu tinggi maka hanya sebagian dari curah hujan yang turun digunakan oleh tanaman, sisanya menjadi limpasan permukaan dan perkolasi, sebaliknya apabila intensitasnya rendah tidak efektif untuk pertumbuhan tanaman.

Umumnya untuk menentukan cara yang terbaik untuk menghitung curah hujan digunakan standar luas daerah dengan ketentuan sebagai berikut : (Sosrodarsono, 1983 : 51)

1. Daerah dengan luas 250 ha yang mempunyai variasi topografi yang kecil, dapat diwakili oleh sebuah alat ukur curah hujan.
2. Untuk daerah antara 250 ha sampai 50.000 ha dengan dua atau tiga titik pengamatan dapat digunakan cara rata-rata aljabar.

3. Untuk daerah antara 120.000 ha sampai 500.000 ha yang mempunyai titik-titik pengamatan yang tersebar cukup merata dan dimana curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi topografi, dapat digunakan cara rata-rata aljabar. Jika titik-titik pengamatan itu tidak tersebar merata maka digunakan cara Thiessen.
4. Untuk daerah yang lebih besar dari 500.000 ha, dapat digunakan cara Isohyet.

Dalam studi ini perhitungan rata-rata curah hujan daerah menggunakan perwakilan alat ukur curah hujan dari stasiun klimatologi terdekat, karena luas Daerah Irigasi Kainui yang direncanakan adalah sebesar 20 ha.

### 2.2.1. Curah Hujan Efektif Tanaman Padi

Untuk menghitung kebutuhan air tanaman padi, curah hujan efektif adalah curah hujan setengah bulanan diambil 70% dari curah hujan minimum tengah bulan dengan periode ulang 5 tahun (Anonim, 1986 : 10).

$$Re = \frac{70\% \times R_{80}}{T} \quad (2-5)$$

Dimana :

- Re = curah hujan efektif untuk padi (mm/hari)
- R<sub>80</sub> = curah hujan andalan dengan peluang keandalan 80% (mm)
- T = periode tata tanam (15 Harian)

### 2.2.2. Curah Hujan Efektif Tanaman Palawija

Curah hujan efektif untuk tanaman palawija ditentukan berdasarkan evapotranspirasi yang terjadi, curah hujan bulanan rerata dari daerah yang bersangkutan dan ketersediaan air tanah yang siap dipakai dengan persamaan sebagai berikut (Anonim, 1986 : 175) :

$$Re_{plw} = FD (1,25 \cdot R^{0,824} - 2,93) (10^{0,0095 \cdot ETO}) \quad (2-6)$$

$$F_D = 0,53 + 0,0116 \cdot D - 8,94 \cdot 10^{-5} \cdot D^2 + 2,32 \cdot 10^{-7} \cdot D^3 \quad (2-7)$$

Dimana :

- Re<sub>plw</sub> = curah hujan efektif untuk palawija (mm/hari)
- F<sub>D</sub> = faktor kedalaman air tanah yang bisa dimanfaatkan oleh tanaman palawija (mm)
- D = kedalaman perakaran yang siap pakai (mm)
  - = kedelai = 75 mm
  - jagung = 80 mm
  - kacang tanah = 55 mm

Atau :

$$Re = \frac{50\% \times R_{80}}{T} \quad (2-8)$$

Dimana :

Re = curah hujan efektif untuk palawija (mm/hari)

R<sub>80</sub> = Curah Hujan Andalan dengan peluang keandalan 80 % (mm)

T = Periode Tata Tanam (15 Harian)

### 2.3. Perkolasi

Perkolasi adalah pergerakan air ke bawah di daerah tidak jenuh (antara permukaan tanah sampai ke permukaan air) ke dalam daerah jenuh (daerah dibawah permukaan air tanah). Daya perkolasi adalah laju perkolasi maksimal yang dimungkinkan. (Soemarto, 1986 : 80)

Laju perkolasi dipengaruhi oleh tekstur tanah, permeabilitas tanah, tinggi permukaan air tanah, dan tebal lapisan tanah bagian atas. Laju perkolasi normal pada tanah lempung sesudah dilakukan penggenangan berkisar antara 1 – 3 mm/hr. Di daerah miring rembesan dari sawah ke sawah dapat mengakibatkan banyak kehilangan air. Di daerah-daerah dengan kemiringan diatas 5%, paling tidak akan terjadi kehilangan 5 mm/hr akibat perkolasi dan rembesan. (Anonim, 1986 : 107)

**Tabel 2.1. Laju perkolasi untuk berbagai tekstur tanah (OTCA 1974)**

Tekstur tanah	Perkolasi (mm/hr)
Lempung berpasir	3 – 6
Lempung	2 – 3
Liat lempung	1 – 2

*Sumber : Wirosoedarmo, 1985 : 83*

### 2.4. Kebutuhan Air di Sawah

Kebutuhan air di sawah meliputi kebutuhan air saat pengolahan tanah, penggunaan air konsumtif, penggantian lapisan air (WLR) dan kebutuhan air bersih di sawah.

#### 2.4.1. Kebutuhan Air Saat Pengolahan Tanah

Besarnya kebutuhan air untuk pengolahan tanah bergantung dari besarnya penjemuran tanah, lama pengolahan, evaporasi dan perkolasi. Kebutuhan air untuk

pengolahan tanah bagi tanaman padi direkomendasikan seperti berikut (Anonim, 1986 : 17) :

1. Angka penjumlahan 200 mm → sawah tanpa bero
2. Angka penjumlahan 250 mm → sawah bero lebih 2,5 bulan

Kebutuhan air untuk pengolahan tanah bagi palawija merupakan kebutuhan untuk penjumlahan saja karena tidak dituntut adanya penggenangan. Untuk palawija, kebutuhan air untuk penjumlahan ini rata-rata sebesar 50 mm selama 15 hari, sehingga angka kebutuhan air adalah 3.33 mm/hari. Besarnya kebutuhan air untuk penjumlahan tanah dapat dilihat pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2. Kebutuhan air untuk penjumlahan tanah**

Jenis Tanaman	Jenis	Lamanya Pengolahan	Kebutuhan Air	Keterangan
Padi	Varietas Unggul	30 Hari	200 mm	non bero
		30 Hari	250 mm	bero
Palawija	Jagung	15 Hari	50 mm	
	Kacang Tanah	15 Hari	50 mm	

*Sumber :Anonim, 1986 : 107*

#### **2.4.2. Penggunaan Air Konsumtif**

Evapotranspirasi konsumtif (Consumptive Evapotranspiration = ETc) dan diartikan sebagai kehilangan air melalui tanah dan tanaman dan dapat diasumsikan sebagai kebutuhan air tanaman dan biasa disebut sebagai berikut (Suhardjono, 1994 : 12) :

$$ETc = ETo. kc \quad (2-9)$$

Dimana :

- ETc = kebutuhan air tanaman (mm/hari)
- ETo = evapotranspirasi potensial (mm/hari)
- kc = koefisien tanaman

Koefisien tanaman berbeda-beda menurut jenis tanaman, waktu, kondisi tanaman dan kondisi lingkungan (kelembaban) setempat. Besarnya koefisien tanaman yang akan digunakan didasarkan pada penelitian Prosida/Nedeco dan FAO, seperti Tabel 2.3.

**Tabel 2.3. Harga Koefisien Tanaman Menurut Umur Tanaman**

Bulan Ke :	Nedeco/Prosida		F A O	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
	<i>Padi</i>		<i>Padi</i>	
0.5	1.20	1.20	1.10	1.10
1.0	1.20	1.27	1.10	1.05
1.5	1.32	1.33	1.10	1.05
2.0	1.40	1.30	1.10	1.05
2.5	1.35	1.30	1.10	0.95
3.0	1.24	0.00	1.05	0.00
3.5	1.12	0.00	0.95	0.00
4.0	0.00	0.00	0.00	0.00
	<i>Jagung atau</i>	<i>Kc. Tanah</i>		
0.5	0.58	0.58	-	-
1.0	0.68	0.58	-	-
1.5	1.10	0.76	-	-
2.0	1.21	0.98	-	-
2.5	1.17	1.09	-	-
3.0	1.09	1.09	-	-
3.5	-	1.09	-	-
4.0	-	0.63	-	-
4.5	-	0.63	-	-

*Sumber :Anonim, 1986 : 7*

#### **2.4.3. Penggantian Lapisan Air**

Penggantian lapisan air erat hubungannya dengan kesuburan tanah. Beberapa saat setelah air digenangkan air kotor dan mengandung zat-zat yang tidak lagi diperlukan oleh tanaman, bahkan akan merusak tanaman. Air genangan yang perlu dibuang diganti dengan air baru yang bersih. Adapun ketentuan penggantian lapisan air (WLR) adalah sebagai berikut :

- WLR diperlukan saat terjadi pemupukan atau penyiangan.
- Besarnya WLR adalah 50 mm.
- Jangka waktu WLR adalah 1,5 bulan (selama 1,5 bulan air yang digunakan untuk WLR sebesar 50 mm).

#### 2.4.4. Kebutuhan Bersih Air di Sawah (*Netto Farm Requirement/NFR*)

Besarnya kebutuhan air di sawah dipengaruhi oleh baerbagai faktor sebagai berikut (Anonim, 1986 : 157 ) :

- Penyiapan lahan
- Penggunaan air konsumtif
- Perkolasi
- Penggantian lapisan air
- Curah hujan efektif

Pendugaan kebutuhan air bersih di sawah dilakukan berdasarkan jenis tanaman, persamaan netto kebutuhan air (NFR) dengan Metode Standar Perencanaan Irigasi adalah sebagai berikut :

a. Padi

$$NFR = IR + Et + WLR + P - Re_{padi} \quad (2-10)$$

b. Palawija

$$NFR = Et + P - Re_{plw} \quad (2-11)$$

Dimana :

$NFR_{padi}$  = Netto kebutuhan air tanaman padi di sawah (mm/hari)

$NFR_{plw}$  = Netto kebutuhan air tanaman palawija (mm/hari)

IR = Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari)

Et = Penggunaan air konsumtif (mm/hari)

WLR = Penggantian lapisan air (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

$Re_{padi}$  = Curah hujan efektif untuk tanaman padi (mm/hari)

$Re_{plw}$  = Curah hujan efektif untuk tanaman palawija (mm/hari)

## 2.5. Efisiensi Irigasi

Efisiensi irigasi ( $e$ ) merupakan angka perbandingan dari jumlah debit air irigasi yang dipakai dengan jumlah debit air irigasi yang dialirkan dan dinyatakan dalam persen (%). Untuk tujuan-tujuan perencanaan, dianggap seperempat atau sepertiga dari jumlah air yang diambil akan hilang sebelum air itu sampai di sawah. Kehilangan ini disebabkan oleh air yang diambil akan hilang sebelum air itu sampai di sawah yang disebabkan oleh kegiatan eksploitasi, evaporasi dan rembesan. Efisiensi irigasi untuk perencanaan irigasi pedesaan berbeda dengan perencanaan pada umumnya. Karena luas daerah yang diairi umumnya berskala dibawah 100 ha, maka kehilangan air di saluran menjadi sangat rendah, sehingga efisiensi dapat dimaksimalkan. Oleh karena itu kebutuhan bersih air di sawah (NFR) harus dibagi efisiensi irigasi untuk memperoleh jumlah air yang dibutuhkan di intake (Anonim, 1986 : 8).

Besarnya kehilangan air diambil sebagai berikut :

1. Saluran tersier = 20%, sehingga efisiensi  $\approx$  80%
2. Saluran sekunder = 15%, sehingga efisiensi  $\approx$  85%
3. Saluran utama = 10%, sehingga efisiensi  $\approx$  90%

Efisiensi secara keseluruhan dihitung sebagai berikut : efisiensi jaringan tersier x efisiensi jaringan sekunder x efisiensi jaringan primer, sehingga efisiensi irigasi rata-rata secara keseluruhan  $\approx$  65%

## 2.6. Debit Andalan

Debit andalan adalah debit yang tersedia guna keperluan tertentu (irigasi dan air minum) dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Menurut pengamatan, besarnya andalan untuk penyelesaian optimum penggunaan air di beberapa macam proyek adalah sebagai berikut (Anonim, 1986 : 79) :

1. Penyediaan air minum 99 %
2. Penyediaan air industri 95 – 98 %
3. Penyediaan air irigasi, untuk :
  - a) Daerah beriklim setengah lembab 70 – 85 %
  - b) Daerah beriklim kering 80 – 95 %
4. PLTA (Pusat Listrik Tenaga Air) 85 – 90 %

Metode untuk perhitungan debit andalan untuk interval harian adalah sebagai berikut :

1. Metode Q rata-rata minimum
2. Metode Flow Characteristic
3. Basic Year atau Basic Month
4. Simulasi Dr. Mock

sedangkan metode perhitungan debit andalan yang digunakan dalam studi ini sesuai dengan data yang tersedia, yaitu interval bulanan, adalah Metode NRECA. Alasan pemilihan Metode NRECA adalah karena keterbatasan data pengamatan debit sungai di lokasi studi, sehingga data debit yang tidak tersedia dapat dibangkitkan dengan menggunakan Metode NRECA.

Metode NRECA dikembangkan oleh Norman H. Crawford (USA) yang merupakan penyederhanaan dari Stanford Watershed Model IV yang memiliki 34 parameter. Model ini dapat digunakan untuk menghitung debit bulanan dari hujan bulanan berdasarkan keseimbangan air di DPS.

Pada model NRECA ini ada tiga parameter yang menggambarkan karakteristik DPS yang besar pengaruhnya terhadap output dari sistem, yaitu (Anonim. 1999 : 61):

1. NOMINAL : Indeks kapasitas kelengasan tanah (mm), dapat didekati dengan persamaan :
 
$$100 + C.R_a \quad (2-12)$$
 Dimana :  $C = 0,2$   
 $R_a = \text{hujan tahunan (mm)}$   
 Nilai NOMINAL dapat berkurang sampai dengan 25 % pada DPS yang vegetasinya terbatas dan tanah penutupnya tipis.
2. PSUB : Prosentase dari limpasan yang bergerak keluar dari DPS melalui limpasan permukaan. PSUB merupakan parameter karakteristik lapisan tanah pada kedalaman 0 – 2 m. Nilai PSUB berkisar antara 0,3 – 0,9 tergantung pada sifat lulus air tanah.  
 PSUB = 0,3 bersifat kedap air  
 PSUB = 0,9 bersifat lulus air
3. GWF : Prosentase dari tampungan air yang mengalir ke sungai sebagai aliran dasar. GWF merupakan parameter karakteristik lapisan tanah pada kedalaman 2- 10 m.  
 GWF = 0,2 bersifat kedap air

GWF = 0,8 bersifat lulus air

Disamping tiga parameter tersebut, ada dua parameter lagi yang pengaruhnya kecil terhadap output, yaitu (Anonim, 1999 : 62) :

1. Simpanan Kelengasan Tanah (Soil Moisture Storage/SM stor)

Simpanan kelengasan tanah adalah cadangan air yang besarnya ditentukan oleh selisih dari tampungan akhir dan tampungan awal. Besarnya tampungan ini ditentukan oleh hujan, evapotranspirasi dan kelebihan kelengasan yang menjadi limpasan langsung dan imbuhan air tanah. Simpanan kelengasan tanah bulanan selanjutnya ditentukan dengan persamaan :

$$SM_i = SM_{i-1} + \Delta Stor_{i-1} \quad (2-13)$$

Dimana :

$SM_i$  = Simpanan kelengasan tanah bulan ke i

$SM_{i-1}$  = Simpanan kelengasan tanah bulan ke i-1

i = 1,2,3,dst.

$\Delta Stor_{i-1}$  = Perubahan simpanan kelengasan bulan ke i-1

2. Simpanan Air Tanah (Ground Water Sotrage/GWStor)

Kelebihan kelengasan tanah yang masuk kedalam tanah dan mengalami perkolasi akan masuk kedalam tampungan air tanah yang biasa disebut akuifer. Akibat proses hidrologi sebelumnya, akuifer ini biasanya tidak kosong. Simpanan air tanah dalam akuifer akibat proses hidrologi sebelumnya disebut tampungan awal air tanah (begin storage groundwater). Sementara itu tampungan yang telah mendapat tambahan air perkolasi disebut sebagai tampungan akhir air tanah (end storage groundwater).

Persamaan tampungan awal :

$$BSG_{i-1} = ESG_i - GWFlow_i \quad (2-14)$$

Dimana :

$BSG_{i-1}$  = tampungan awal bulan ke i + 1

$ESG_i$  = tampungan akhir bulan ke i

$GWFlow_i$  = aliran air tanah bulan ke i

Persamaan tampungan akhir :

$$ESG_i = BSG_i + RECH_i \quad (2-15)$$

Dimana :

$RECH_i$  = kelebihan kelengasan tanah yang masuk kedalam tanah pada bulan ke i

Selanjutnya parameter-parameter diatas akan dikalibrasi. Kalibrasi parameter model NRECA dilakukan dengan tujuan mencari parameter yang paling sesuai dengan karakteristik cekungan DPS yang bersangkutan sehingga hidrograf perhitungan akan mendekati hidrograf pengamatan.

## **2.7. Simulasi Pola Tata Tanam**

Pola tata tanam adalah jadwal rencana mengenai tanaman yang akan ditanam dalam waktu tertentu. Pola tanam yang berlaku pada setiap daerah akan berbeda dengan daerah lain, karena karakteristik pada setiap daerah adalah berlainan. Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan untuk merencanakan pola tata tanam, yaitu :

### **1. Awal Tanam**

Wilayah Indonesia memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan, oleh karena itu pengaturan jadwal awal tanam sangat penting agar terhindar dari kekurangan air saat musim kemarau dan kelebihan air saat musim penghujan.

### **2. Jenis Tanaman**

Setiap jenis tanaman memiliki tingkat kebutuhan air yang berbeda-beda. Berdasarkan hal tersebut jenis tanaman yang diusahakan harus diatur agar kebutuhan air dapat terpenuhi. Jenis tanaman yang diusahakan adalah (Soekarto, 1979 : 8) :

#### **a. Tanaman Padi**

Perkiraan kebutuhan air untuk tanaman padi adalah 4 kali kebutuhan air untuk tanaman palawija.

#### **b. Yang termasuk tanaman palawija antara lain : jagung, kedelai, ubi, ketela, kacang dan lain-lain. Kebutuhan air untuk tanaman palawija adalah 0,2 – 0,25 lt/dt/ha.**

### **3. Luas Areal**

Semakin luas areal persawahan yang diairi, maka kebutuhan air irigasi semakin banyak. Pengaturan luas tanaman akan membatasi besarnya kebutuhan air tanaman.

### **4. Debit yang tersedia**

Apabila debit yang tersedia cukup besar, maka hampir semua jenis tanaman dapat dipenuhi kebutuhannya sehingga pemberian air tidak perlu diatur.

## 2.8. Analisa Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar tahunan dengan satu peluang tertentu yang mungkin terjadi di suatu daerah pada periode ulang tertentu. Perhitungan dapat dilakukan dengan analisa frekuensi dengan menggunakan metode-metode Log Pearson Type III, Gumbel, Log Normal dan metode Gama I.

Dari beberapa metode tersebut, digunakan Metode Log Pearson Type III karena lebih fleksibel dan dapat digunakan untuk semua sebaran data. Dan ketepatan pemilihan metode harus dilakukan uji kesesuaian distribusi dengan beberapa cara, antara lain dengan Uji Smirnov-Kolmogorov dan Chikudrat. Berikut adalah parameter statistik berupa koefisien kepengcangan / *Skewness* (Cs) dan Koefisien kepuncakan / *Curtuis* (Ck) yang dibutuhkan untuk setiap metode analisa frekwensi :

**Tabel 2.4. Syarat Pemilihan Agihan Frekwensi**

Jenis Metode	Ck	Cs
Gumbel	5.402	1.196
Normal	3	0
Log Pearson Type III	Bebas	Bebas

*Sumber : Sri Harto, 1995 : 245*

### 2.8.1. Analisa Frekuensi Metode Log Pearson Type III

Analisis ini digunakan untuk menghitung curah hujan rencana harian, curah hujan rencana 3 (tiga) harian untuk *drain modul* maupun untuk perhitungan debit banjir rencana/*design flood* dari data pencatatan AWLR atau Staf Gauge (jika ada).

Keistimewaan metode Log Pearson Type III adalah dapat digunakan untuk semua sebaran data. Adapun langkah-langkah perhitungan analisis frekuensi dengan metode Log Pearson Type III sebagai berikut (Soemarto, 1995 : 152) :

1. Urutkan data dari kecil ke besar dan ubah data curah hujan ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) dalam bentuk logaritma ( $\log X_1, \log X_2, \dots, \log X_n$ ).

2. Hitung nilai rerata, dengan persamaan :

$$\overline{\text{Log}X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{log}X_i) \quad (2-16)$$

3. Hitung standard devisi, dengan persamaan :

$$S_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{log}X_i - \overline{\text{log}X})^2}{n-1} \quad (2-17)$$

4. Hitung koefisien kepepcengan, dengan persamaan :

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{log}X_i - \overline{\text{log}X})^3}{(n-1)(n-2)(S_n)^3} \quad (2-18)$$

5. Hitung logaritma curah hujan dengan persamaan :

$$\text{Log} X = \overline{\text{log}X} + G \cdot S_n \quad (2-19)$$

6. Hitung anti log X

$$X = \text{anti log} X \quad (2-20)$$

Dimana :

$\text{Log} X$  = logaritma curah hujan rancangan (mm)

$\overline{\text{Log} X}$  = logaritma rerata dari curah hujan (mm)

$\text{Log} X_1$  = logaritma curah hujan tahun ke - I

G = konstanta Log Pearson Type III, berdasarkan koefisien kepepcengan

$S_n$  = simpangan baku

Cs = koefisien kepepcengan (positif dan negatif)

n = banyaknya tahun pengamatan

### 2.8.2. Uji Kesesuaian Distribusi

Pemeriksaan uji kesesuaian distribusi ini dimaksudkan untuk :

1. Apakah data debit dan data curah hujan tersebut benar-benar sesuai dengan distribusi teoritis yang dipakai (metode Log Pearson Type III).
2. Apakah hipotesa tersebut dapat digunakan atau tidak.

Dalam studi ini digunakan uji kesesuaian distribusi sebagai berikut :

**a. Uji Smirnov-Kolmogorov**

Uji kesesuaian Smirnov-Kolmogorov ini digunakan untuk menguji simpangan secara mendatar. Uji ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut (Soewarno, 1995 : 199) :

1. Data curah hujan diurutkan dari kecil ke besar
2. Menghitung besarnya harga probabilitas dengan persamaan Weibull sebagai berikut (Subarkah, 1980 : 140) :

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2-21)$$

Dimana :

P = Probabilitas (%)

m = Nomor urut data

n = Jumlah data

3. Plotting data hujan (Xi) dengan probabilitas (P)
4. Bila harga  $\Delta_{hit} < \Delta_{cr}$ , maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi masih dalam batas-batas yang diijinkan. Harga  $\Delta_{cr}$  dapat dilihat pada tabel 2.5.

**Tabel 2.5. Nilai kritis ( $\Delta_{cr}$ ) dari Smirnov-Kolmogorov**

n	$\alpha$			
	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.36	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.21	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
n > 50	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Sumber : Subarkah, 1980 : 142

## b. Uji Chi-Square

Uji kesesuaian Chi-Kuadrat merupakan suatu ukuran mengenai perbedaan yang terdapat antara frekuensi yang diamati dan yang diharapkan. Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara tegak lurus, yang ditentukan dengan rumus (Soewarno, 1995 : 194) :

$$(X^2)_{hit} = \sum_{i=1}^k \frac{(EF - OF)^2}{EF} \quad (2-22)$$

Dimana :

- $X^2_{hit}$  = Harga uji statistik
- EF = Frekuensi yang diharapkan
- OF = Frekuensi yang diamati
- k = jumlah kelas distribusi
- n = banyaknya data

Adapun langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut :

1. Memplot data hujan dengan persamaan Weibull.
2. Tarik garis dengan bantuan titik data hujan yang mempunyai periode ulang tertentu.
3. Harga  $X^2_{cr}$  dicari dari tabel pada lampiran L-11, dengan menentukan taraf signifikan ( $\alpha$ ) dan dengan kebebasannya (DK), sedangkan derajat kebebasan dapat dihitung dengan persamaan

$$DK = k - (P + 1) \quad (2-23)$$

Dimana :

- DK = harga derajat bebas
- k = jumlah kelas distribusi
- P = parameter sebaran Chi Square (ditetapkan = 2)

4. Bila harga  $X^2_{hit} < X^2_{cr}$  maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi masih dalam batas-batas yang diijinkan.

## 2.9. Analisa Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan adalah debit maksimum di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang (rata-rata) yang sudah ditentukan yang dapat dialirkan tanpa membahayakan proyek irigasi dan stabilitas bangunan-bangunannya. Perhitungan debit

banjir rencana pada studi ini dipergunakan untuk perencanaan tanggul agar reklamasi sawah berakhir sempurna dalam satu sistem (Anonim, 1986 : 14).

Dalam perhitungan debit banjir rencana akan dilakukan perhitungan dengan berbagai metode dengan melihat data-data yang tersedia. Untuk data debit (AWLR dan Staf Gauge) akan digunakan analisis frekuensi, sedangkan untuk data curah hujan akan dilakukan perhitungan dengan urutan perhitungan sebagai berikut :

1. Perhitungan curah hujan maksimum daerah
2. Analisis frekuensi untuk perhitungan curah hujan rencana.
3. Debit banjir rencana dengan beberapa metode.

Perhitungan debit rencana dapat dihitung dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Anonim, 1986 : 23) . Metode empiris tersebut menggunakan nilai R serta prosedur analisis dan perhitungan untuk mendapatkan angka yang diharapkan. Sedangkan harga koefisien limpasan (C), dapat diperkirakan dengan meninjau keadaan daerah pengalirannya seperti terlihat pada tabel 2.6.

**Tabel 2.6. Nilai Koefisien Limpasan (C)**

<b>Keadaan Daerah Pengaliran</b>	<b>C</b>
- Bergunung dan curam	0.75 – 0.90
- Pengunungan tersier	0.70 – 0.80
- Tanah berelief berat dan berhutan kayu	0.50 – 0.75
- Dataran pertanian	0.45 – 0.60
- Dataran sawah irigasi	0.70 – 0.80
- Sungai besar yang sebagian alirannya berada di dataran rendah	0.50 – 0.75

*Sumber : Sosrodarsono, 1989 : 38*

### **2.9.1. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu**

Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu adalah metode yang berdasarkan teori hidrograf satuan yang menggunakan hujan efektif (bagian dari hujan total yang menghasilkan limpasan langsung). Parameter-parameter yang mempengaruhi analisis banjir dengan metode Nakayasu ini adalah (Soemarto, 1995 : 100) :

1. Intensitas Curah Hujan

Untuk menganalisa intensitas curah hujan digunakan formula dari Dr. Mononobe yaitu :

$$R_t = R_{24}/t \cdot (t/T)^{(2/3)} \quad (2-24)$$

$$R_T = t \cdot R_t - (t - 1) \cdot R_{(t-1)} \quad (2-25)$$

Dimana :

$R_t$  = Intensitas curah hujan dalam T jam (mm/jam)

$t$  = Waktu konsentrasi hujan (jam)

$T$  = Waktu hujan dari awal sampai jam ke T (jam)

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

$R_T$  = Curah hujan pada jam ke – T (mm)

## 2. Hujan Efektif

$$R_e = C \cdot R \quad (2-26)$$

Dimana :

$R_e$  = Hujan efektif (mm/jam)

$C$  = Koefisien pengaliran sungai

$R$  = Intensitas curah hujan (mm/jam)

## 3. Hidrograf Satuan (UH)

$$Q_{\text{maks}} = \frac{C \cdot A \cdot R_0}{3,6 \cdot (0,30 \cdot T_p \cdot T_{0,3})} \quad (2-27)$$

Dimana :

$Q_{\text{maks}}$  = Debit puncak banjir ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$R_0$  = Hujan Satuan (mm)

$A$  = Luas daerah pengaliran sungai ( $\text{km}^2$ )

$T_p$  = Waktu permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$  = Waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir (jam)

$T_p$  =  $T_g + 0,8 T_r$

$T_{0,3}$  =  $\alpha \cdot T_g$

$T_g$  =  $0,4 + 0,058 L \Rightarrow$  untuk  $L < 15$  km

$T_g$  =  $0,21 L^{0,7} \Rightarrow$  untuk  $L > 15$  km

$T_g$  = Waktu konsentrasi pada daerah aliran (jam)

$T_r$  = Satuan waktu dari curah hujan (0,5 – 1,0).  $T_g$

$\alpha$  = Koefisien (1,5 – 3,0)

$L$  = Ruas sungai terpanjang (km)

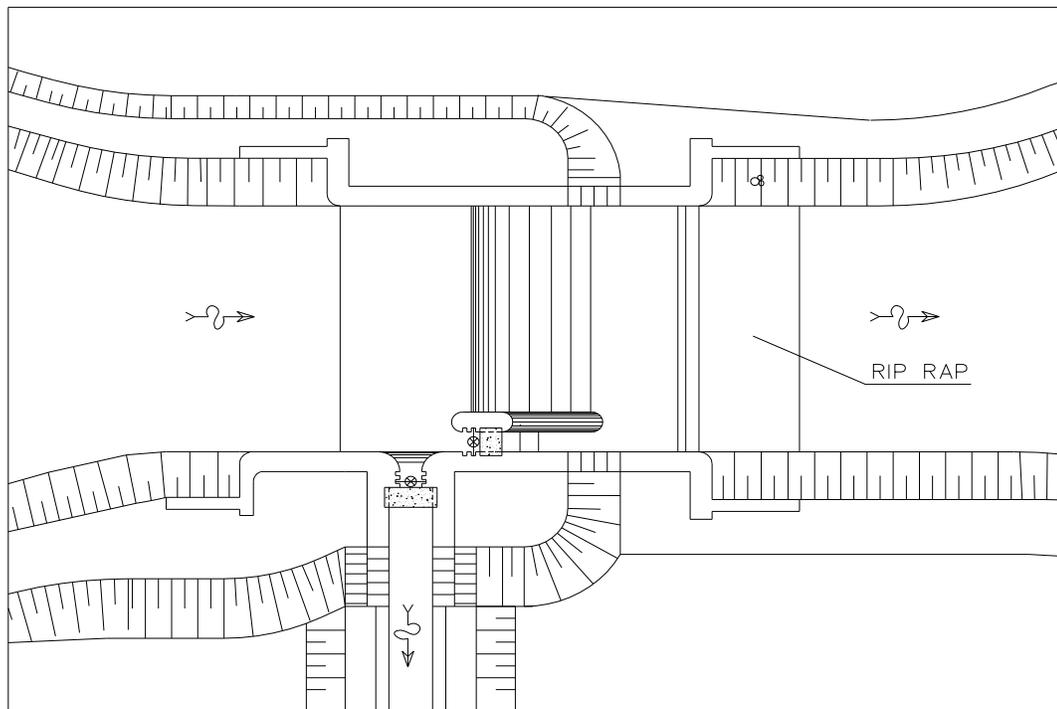
## 2.10. Detail Desain Bendung

Bendung dipakai untuk meninggikan muka air di sungai sampai pada ketinggian yang diperlukan agar air dapat dialirkan ke saluran irigasi dan sampai pada petak sawah. Ketinggian muka air tersebut akan menentukan luas daerah irigasi.

Pemilihan lokasi bendung didasarkan atas faktor-faktor antara lain :

1. Memungkinkan untuk mengairi seluruh daerah yang direncanakan secara efisien
2. Keadaan hidrolis sungai stabil
3. Dasar sungai tidak tergerus

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari gambar denah bangunan utama berikut ini (Gambar 2.1).



**Gambar 2.1. Sketsa Denah Bendung**

*Sumber : Anonim, 2003 : 18*

### 2.10.1. Elevasi Mercu

Elevasi mercu ditentukan oleh beberapa faktor di antaranya (Anonim, 1986 : 28)

:

- |   |        |
|---|--------|
| 1. Elevasi sawah tertinggi dan terjauh yang akan dialiri. | X      |
| 2. Tinggi genangan di sawah                               | 0,1 m  |
| 3. Kehilangan tinggi di intake                            | 0,25 m |
| 4. Kehilangan tinggi di alat ukur                         | 0,25 m |

5. Kehilangan tinggi di saluran	0,4 m
6. Kehilangan tinggi akibat eksploitasi	<u>0,1 m +</u>
Tinggi elevasi mercu bendung	X + 1,1 m

Persediaan tekanan karena eksploitasi perlu ditambahkan karena pada saat muka air di sungai mencapai elevasi normal yaitu setinggi mercu bendung, diakibatkan oleh adanya gelombang, maka sebagian airnya akan melimpas mercu dan sebagian lainnya akan berada di bawah mercu. Tinggi mercu bendung adalah jarak antara puncak bendung (P) sampai lantai muka bendung yang dalam hal ini dianggap sebagai dasar saluran.

### 2.10.2. Lebar Efektif Bendung

Lebar bendung adalah jarak antara pangkal-pangkalnya, sebaiknya sama dengan lebar rerata sungai pada bagian yang stabil. Di bagian bawah ruas sungai, lebar rerata ini dapat diambil pada debit penuh. Dalam hal ini banjir rerata tahunan dapat diambil untuk menentukan lebar bendung. Lebar bendung maksimum hendaknya tidak lebih dari 1,2 lebar rerata sungai pada ruas yang stabil. Lebar efektif bendung tidak sama dengan lebar bendung. Lebar efektif bendung adalah lebar bendung yang bermanfaat untuk melewati debit karena kemungkinan adanya pilar-pilar dan pintu penguras. Lebar efektif bendung pada umumnya lebih kecil dari lebar bendung atau maksimum sama.

Perhitungan Lebar efektif bendung adalah sebagai berikut (Sosrodarsono, 1989 : 183) :

$$L_{\text{eff}} = L - 2 \cdot (n \cdot K_p + K_a) \cdot H_1 \quad (2-28)$$

Dimana :

$L_{\text{eff}}$	=	lebar efektif (m)
$L$	=	lebar total (m)
$n$	=	jumlah pilar
$K_p$	=	koefisien kontraksi pilar
$K_a$	=	koefisien kontraksi dinding samping
$H_1$	=	tinggi energi diatas mercu bendung (m)

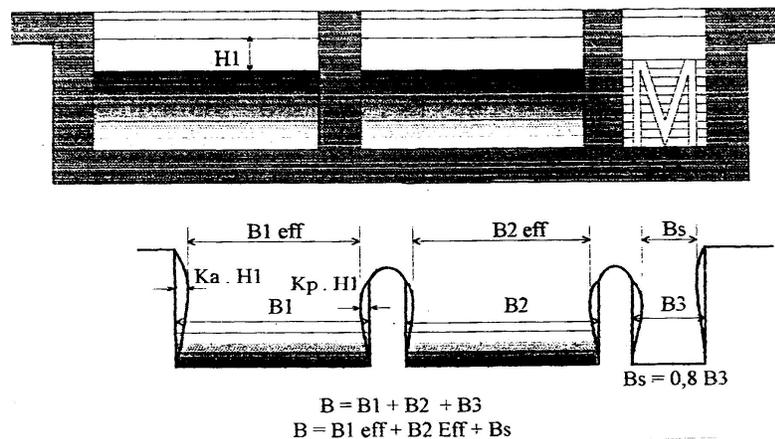
Harga Koefisien  $K_p$  dan  $K_a$  diberikan pada tabel 2.7.

**Tabel 2.7. Harga-Harga Koefisien Kontraksi**

Uraian	Kp
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar.</li> </ul>	0.20
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk pilar berujung bulat</li> </ul>	0.01
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk pilar berujung runcing</li> </ul>	0
	<b>Ka</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu 90<sup>0</sup> ke arah aliran</li> </ul>	0.20
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90<sup>0</sup> ke arah aliran dengan <math>H &gt; r &gt; 0,15 H</math></li> </ul>	0.10
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk pangkal tembok bulat di mana <math>5 &gt; 0,5 H</math> dan tembok hulu lebih dari 45<sup>0</sup> ke arah aliran</li> </ul>	0

Sumber : Anonim, 1986 : 38

Dalam perhitungan lebar efektif bendung, lebar pembilas yang sebenarnya (dengan bagian terbuka) sebaiknya diambil 80% dari lebar rencana untuk mengkompensasi perbedaan koefisien debit dibandingkan dengan mercu bendung itu sendiri (Gambar 2.2.)

**Gambar 2.2. Lebar Effektif Bendung**

Sumber : Anonim, 1986 : 39

### 2.10.3. Perencanaan Mercu

Di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe mercu untuk bendung pelimpah yaitu tipe Ogee dan tipe bulat. Kedua bentuk mercu tersebut dapat dipakai baik untuk konstruksi beton maupun pasangan batu atau bentuk kombinasi dari keduanya. Bendung

dengan mercu bulat mempunyai koefisien debit yang lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien bendung ambang lebar. Pada sungai, banyak memberikan keuntungan karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisien debit menjadi lebih tinggi karena tekanan negatif pada bendung.

Dalam penentuan jari – jari mercu untuk mercu bendung pasangan batu atau beton digunakan persamaan (Anonim a, 1986 :42) :

$$r_{\text{beton}} = (0,1 - 0,7) H_1 \quad (2 - 29)$$

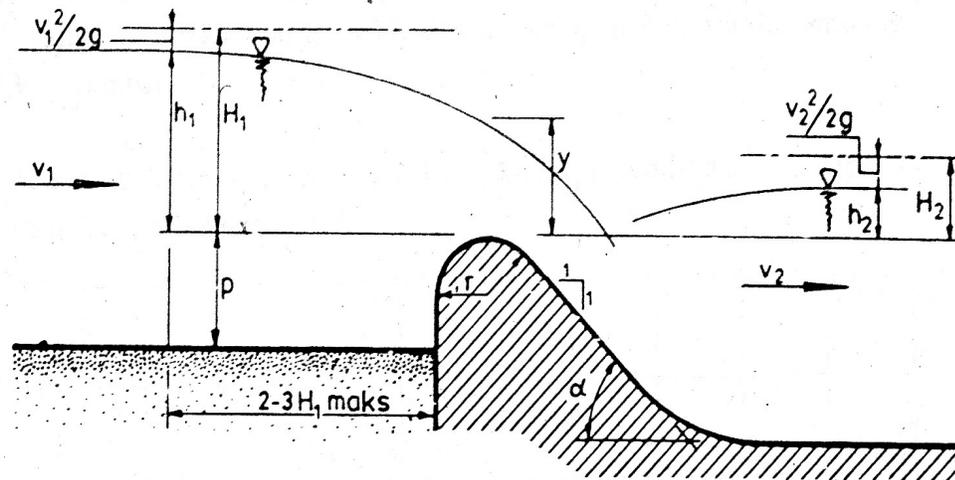
$$r_{\text{batu}} = (0,3 - 0,7) H_1 \quad (2 - 30)$$

dengan :

$r$  = jari – jari mercu bendung (m)

$H_1$  = tinggi energi diatas bendung (m)

Berikut ini adalah contoh gambar perencanaan mercu bulat (Gambar 2.3.)



**Gambar 2.3. Standar Perencanaan Bentuk Mercu Bulat**

*Sumber : Anonim, 1986 : 41*

Persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bendung Mercu Bulat adalah (Anonim, 1986 : 42) :

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g} \cdot b \cdot H_1^{1,5} \quad (2-31)$$

Dimana :

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

$C_d$  = koefisien debit

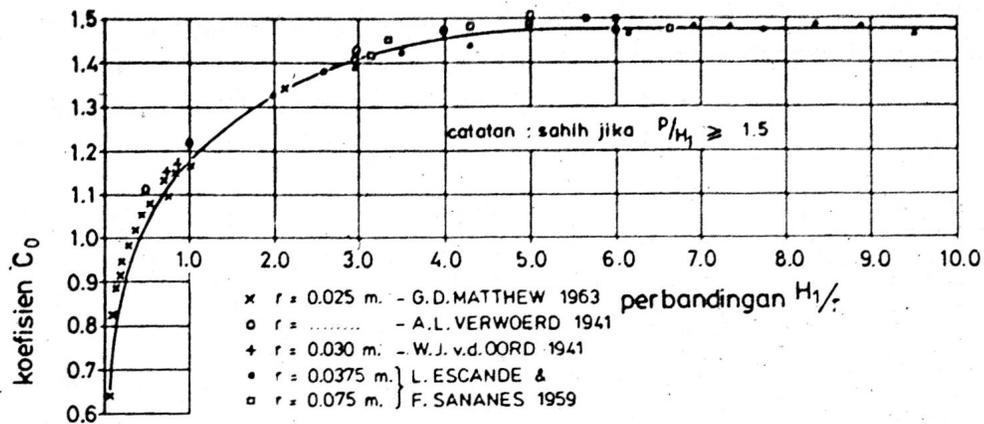
=  $C_0 \cdot C_1 \cdot C_2$

- $g$  = percepatan gravitasi ( $m/dt^2$ )  
 $b$  = lebar mercu (m)  
 $H_1$  = tinggi energi diatas ambang (m)

Koefisien debit efektif  $C_d$  adalah hasil  $C_0$ ,  $C_1$ , dan  $C_2$  ( $C_d = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2$ ).

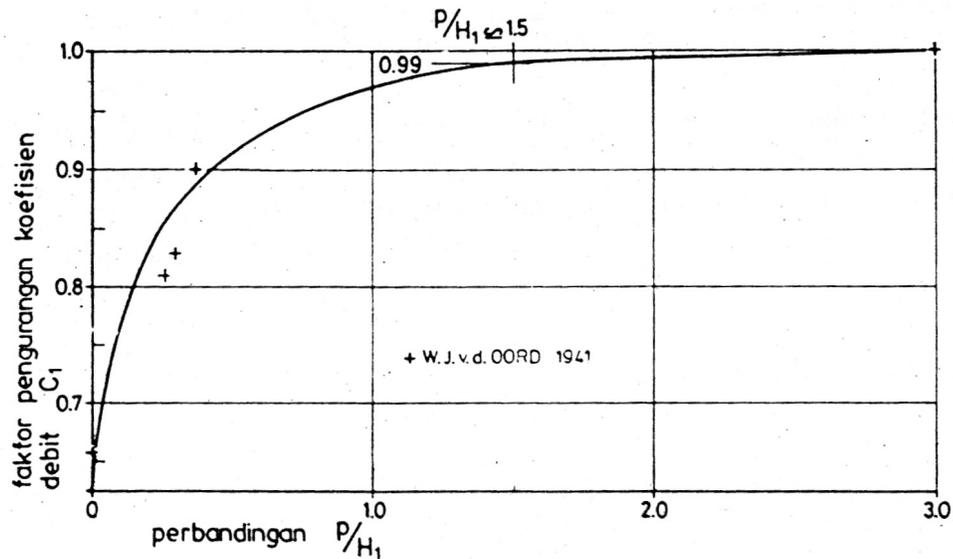
Dimana :

- $C_0$  = fungsi  $H_1/r$  (gambar 2.4)  
 $C_1$  = fungsi  $p/H_1$  (gambar 2.5)  
 $C_2$  = fungsi  $p/H_1$  dan kemiringan muka hulu bendung (gambar 2.6)



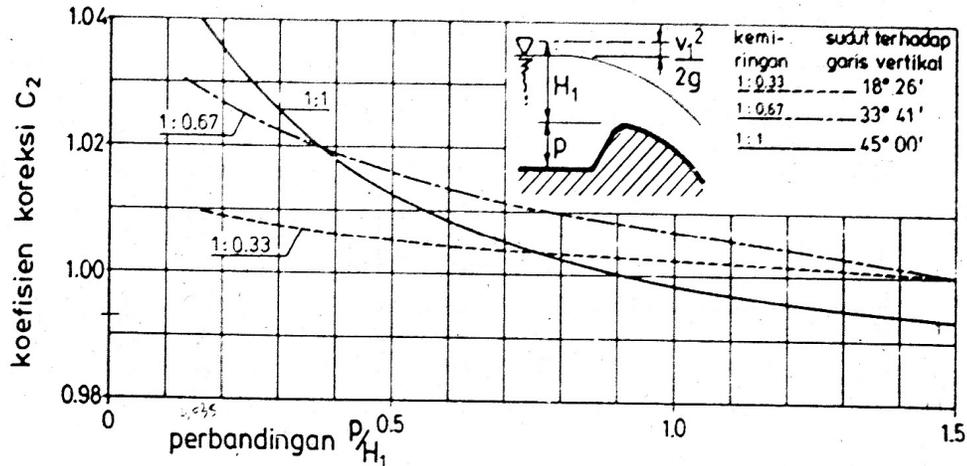
Gambar 2.4. Harga Koefisien  $C_0$  dengan Fungsi Perbandingan  $H_1/r$

Sumber : Anonim, 1986 : 43



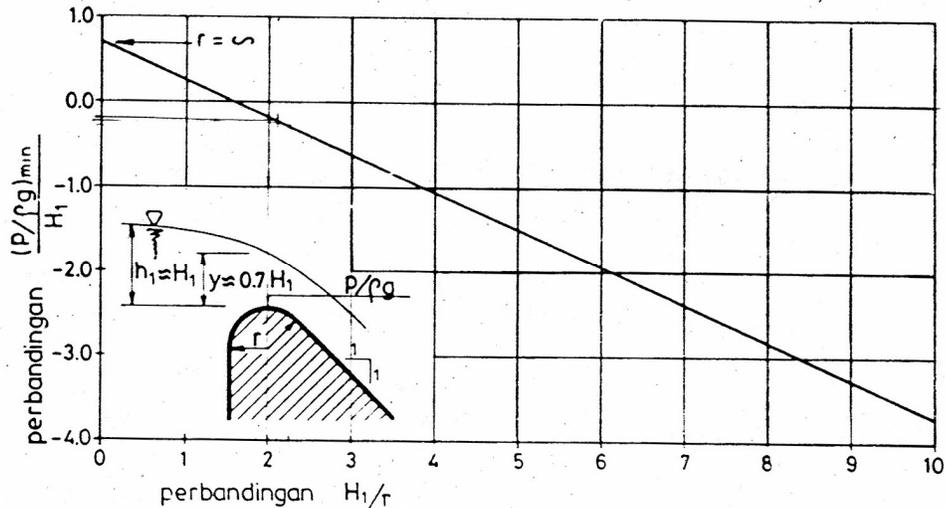
Gambar 2.5. Koefisien  $C_1$  sebagai Fungsi Perbandingan  $p/H_1$

Sumber : Anonim, 1986 : 44



Gambar 2.6. Harga Koefisien  $C_2$

Sumber : Anonim, 1986 : 45



Gambar 2.7. Grafik Tekanan SubAtmosfir pada Mercu Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan  $H_1/r$

Sumber : Anonim, 1986 : 43

#### 2.10.4. Pangkal Bendung

Pangkal – pangkal bendung (abutment) menghubungkan bendung dengan tanggul-tanggul sungai dan tanggul-tanggul banjir. Pangkal bendung harus mengarahkan aliran air dengan tenang di sepanjang permukaannya dan tidak menimbulkan turbulensi.

Elevasi pangkal bendung di sisi hulu bendung direncanakan lebih tinggi dari elevasi air (terbendung) selama terjadi debit rencana. Tinggi jagaan yang harus diberikan adalah 0,75-1,50 m, tergantung kepada kurva debit sungai dilokasi studi. Untuk kurva debit datar 0,75 m akan cukup, sedangkan untuk kurva yang curam

diperlukan 1,50 m untuk memberikan tingkat keamanan yang sama (Anonim, 1986 : 50).

### 2.10.5. Kedalaman Kritis

Pada saat air tepat melintasi diatas mercu bendung maka kedalaman ini disebut dengan kedalaman kritis. Adapun persamaannya digunakan rumus (Anonim, 1986 : 63) :

$$h_c = \sqrt{\frac{q^2}{g}} \quad (2-32)$$

dengan :

$h_c$  = kedalaman air kritis (m)

$q$  = debit persatuan lebar ( $m^3/dt.m$ )

$g$  = grafitasi ( $9,81 m/dt^2$ )

### 2.10.6. Kedalaman Air Saat Melewati Mercu Bendung

Setelah air melewati mercu bendung maka air di lereng bendung akan mempunyai kecepatan, ketinggian air, bilangan froude yang berbeda Dimana perbedaan ini disebabkan tinggi jatuh yang berbeda – beda. Langkah – langkah perhitungan untuk menentukan kedalaman air tiap titik setelah melalui mercu bendung (Anonim, 1986 : 56) :

1. Menentukan tinggi jatuh air ( $Z$ )

2. Mencari kecepatan air ( $V_z$ )

$$V_z = \sqrt{2g(z + He - Y_z)} \quad (2-33)$$

3. Mencari debit permeter lebar ( $q$ )

$$q = Q / B_{ef} \quad (2-34)$$

4. Mencari kedalaman air ( $Y_z$ )

$$Y_z = q / V_z \quad (2-35)$$

5. Mencari bilangan Froude ( $F_z$ )

$$F_z = \frac{V_z}{\sqrt{g.Y_z}} \quad (2-36)$$

6. Elevasi lereng bendung = elevasi puncak –  $Z$

7. Elevasi muka air = elevasi lereng bendung +  $Y_z$

dengan :

$g$  = gravitasi ( $9,81 m/dt^2$ )

$H_1$  = tinggi energi diatas ambang (m)

$z$	= tinggi jatuh (m)
$V_z$	= kecepatan pada titik sejauh $Z$ (m/dt)
$Y_z$	= kedalaman air pada titik sejauh $Z$ (m)
$F_z$	= bilangan Froude pada titik sejauh $Z$
$Q$	= debit banjir rancangan ( $m^3/dt$ )
$q$	= debit perlebar satuan ( $m^3/dt.m$ )
$B_{ef}$	= lebar efektif bendung (m)

### 2.10.7. Peredam Energi

Sebelum air yang melintas bangunan pelimpah dikembalikan lagi kedalam sungai, maka aliran dengan kecepatan tinggi dalam kondisi superkritis harus diperlambat dan diubah menjadi aliran subkritis. Dengan demikian kandungan energi dengan gaya penggerus yang timbul dari aliran tersebut harus direduksi hingga mencapai tingkat yang normal kembali.

Tiap peredam energi yang akan direncanakan disebelah hilir bangunan bergantung kepada energi yang masuk, yang dinyatakan dengan bilangan Froude ( $Fr$ ) dan pada bahan konstruksi peredam energi. Peredam energi terdiri atas beberapa tipe, antara lain Peredam Energi Tipe USBR, Tipe Vlughter, Tipe MDO dan Tipe Bak Tenggelam. Dalam memilih tipe peredam energi sangat bergantung kepada berbagai faktor, antara lain (Mawardi, 2004 : 94) :

1. Tinggi bendung
2. Keadaan geoteknik tanah, seperti jenis batuan, lapisan, kekerasan tanah, dsb.
3. Jenis angkuta sedimen
4. Keadaan aliran yang terjadi di bangunan peredam energi seperti aliran tenggelam, loncatan aliran yang lebih rendah atau lebih tinggi dari kedalaman muka air di hilir.

Untuk perencanaan irigasi dalam skala pedesaan dimana bentang sungai dan luas daerah irigasi yang diairi relatif sangat kecil serta keterbatasan bahan baku dan tenaga kerja sangat mempengaruhi pemilihan tipe peredam energi diatas. Sehingga untuk meredam energi akibat pembendungan akan digunakan alternatif pemilihan tipe bangunan peredam energi yang paling sederhana atau hanya dengan menyesuaikan peredaman energi dengan panjang lantai apron hilir, mengingat bahan konstruksi bendung yang hanya menggunakan pasangan batu akan memiliki usia guna lebih panjang dan biaya lebih murah jika bangunan peredam energi adalah lantai apron hilir sepanjang loncatan

air (loncatan Konjugasi). Untuk mengetahui kedalaman air di hilir sungai digunakan rumus (Anonim, 1986 : 56) :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = 1/2(\sqrt{1+8F_r^2} - 1) \quad (2-37)$$

dimana :

$$Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot Y_u}} \quad (2-38)$$

dan :

$$V_1 = \sqrt{2g(1/2H_1 + z)} \quad (2-39)$$

dengan :

$Y_2$  = Kedalaman air diatas ambang ujung (m)

$Y_1$  = Kedalaman air diawal loncatan air (m)

$Fr$  = Bilangan froude

$V_1$  = Kecepatan awal loncatan (m/dt)

$g$  = gravitasi (9,81m/dt)

$Y_u$  =  $Y_1$  = Tinggi air pada saatawal loncat (m)

$z$  = Tinggi jatuh (m)

## 2.11. Bangunan Pengambilan (Intake)

Pembilasan pengambilan dilengkapi dengan pintu dan bagian depannya terbuka untuk menjaga jika terjadi muka air tinggi selama banjir, besarnya bukaan pintu bergantung kepada kecepatan aliran masuk yang diijinkan. Kecepatan ini bergantung ukuran butir bahan yang dapat diangkut.

Perencanaan kapasitas pengambilan diambil 120% dari kebutuhan pengambilan guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama usia guna bangunan. Rumus dibawah ini memberikan perkiraan yang dimaksud (Anonim, 1986 : 84) :

$$V^2 \geq 32 \left(\frac{h}{d}\right)^{1/3} d \quad (2-40)$$

Dimana :

$V$  = kecepatan rata – rata (m/dt)

$h$  = kedalaman air (m)

$d$  = diameter butir (m)

Dalam kondisi biasa, rumus ini dapat disederhanakan menjadi :

$$v \approx 10 \cdot d^{0.5} \quad (2-41)$$

Dengan kecepatan masuk besar 1,0 – 2,0 m/dt yang merupakan besarnya perencanaan normal, dapat diharapkan bahwa butir-butir berdiameter 0,01 sampai 0,04 m dapat masuk (Anonim, 1986 : 71) :

$$Q = Cd Cv b a \sqrt{2 g (y_1 - y)} \quad (2-42)$$

Dimana :

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

b = lebar pintu (m)

a = w = tinggi bukaan pintu

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

$y_1$  = tinggi muka air di hulu intake (m)

y = tinggi loncatan hidrolis air pada bukaan pintu

=  $\delta \cdot w$

$C_v$  = Koefisien kontraksi pada pintu intake

$C_d$  = koefisien debit pada pintu intake

Asumsi bangunan pengambilan :

- ✓ 5 – 20 m untuk panjang saluran pembilas bawah
- ✓ 1 – 2 m untuk tinggi saluran pembilas bawah
- ✓ 0,02 – 0,35 m untuk tebal beton bertulang

Luas saluran pembilas bawah (lebar kali tinggi) direncanakan sedemikian rupa sehingga kecepatan minimum dapat dijaga ( $V = 1,0 - 1,5$  m/dt). Tata letak saluran pembilas bawah direncanakan dengan hati-hati untuk menghindari sudut mati dengan kemungkinan terjadinya sedimentasi terganggunya aliran.

## 2.12. Pintu bilas

Ada bermacam-macam pintu bilas yang digunakan, yaitu (Anonim, 1986 : 88) :

1. Satu pintu tanpa pelimpah (bagian depan tertutup)
2. Satu pintu dengan pelimpah (bagian depan terbuka)

3. Dua pintu, biasanya hanya dengan pelimpah
4. Pintu radial dengan katup agar dapat membilas benda-benda terapung

ada juga pintu bilas underslice dengan pintu atas dapat membilas benda-benda terapung dan pintu bawah digunakan untuk membilas material yang mengendap didepan pintu.

### 2.13. Kantong Lumpur

Kantong lumpur mengendapkan fraksi – fraksi sedimen yang lebih besar dari fraksi pasir halus (0,06 – 0,07 mm) dan biasanya ditempatkan persis disebelah hilir pengambilan. Bahan – bahan yang lebih halus tidak dapat ditangkap didalam kantong lumpur biasa dan harus diangkut melalui jaringan saluran ke sawah – sawah. Bahan yang telah mengendap didalam kantong lumpur kemudian dibersihkan secara berkala. Pembersihan ini biasanya dilakukan dengan menggunakan aliran air yang deras untuk menghanyutkan bahan endapan tersebut kembali ke sungai. Maka perhitungan kantong lumpur menggunakan rumus sebagai berikut (Anonim, 1986 : 140) :

$$LB = \frac{Q}{W} \quad (2-43)$$

Dimana :

- L = panjang kantong lumpur (m)
- B = lebar kantong lumpur (m)
- Q = debit saluran (m<sup>3</sup>/dt)
- w = kecepatan endap partikel sedimen (m/dt)

### 2.14. Analisa Stabilitas

Gaya – gaya yang bekerja pada bendung dan mempunyai arti penting dalam perencanaan terutama pada lokasi studi adalah :

- Tekanan air
- Gaya tekan ke atas (Uplift)
- Berat bangunan

#### 2.14.1. Tekanan Air

Tekanan hidrostatik dan tekanan hidrodinamis adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air, tekanan air akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan. Untuk mempermudah perhitungan gaya hidrostatik dan vertikal dikerjakan terpisah. Tubuh bendung mendapat tekanan bukan hanya pada permukaan luarnya tetapi

juga pada dasarnya dan dalam tubuh bendung. Tekanan air ditinjau dalam keadaan normal dan banjir.

Rumus tekanan air statis :

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H^2 \quad (2-44)$$

$$Y_w = 1/3 \cdot H \quad (2-45)$$

Rumus tekanan air dinamis :

$$P_d = \frac{7}{12} \cdot \gamma_w \cdot K_h (H_2)^2 (1 - Z^{1.5}) \quad (2-46)$$

$$Y_d = H_2 \left( 1 - \left( \frac{3}{5} \cdot \frac{1 - Z^{2.5}}{1 - Z^{1.5}} \right) \right) \quad (2-47)$$

dimana :

- $P_w$  = tekanan hidrostatis (t/m)
- $P_d$  = tekanan hidrodinamis (t/m)
- $\gamma_w$  = berat jenis air ( $t/m^3$ )
- $H$  = tinggi air (m)
- $K_h$  = koefisien gempa (0,15)
- $H_1$  = tinggi air diatas mercu pelimpah (m)
- $H_2$  = tinggi air dari dasar (m)
- $Z$  = rasio perbandingan  $H_1/H_2$
- $Y_d$  = jarak terhadap pusat tekanan

#### 2.14.2. Gaya Tekan Keatas (Uplift)

Dalam teori Lane bidang horisontal memiliki daya tahan terhadap aliran (rembesan) 3 kali lebih lemah dibandingkan dengan bidang vertikal. Ini dapat dipakai untuk menghitung gaya tekan ke atas di bawah bendung dengan cara membagi beda tinggi energi pada bendung sesuai bentuk rumus. Gaya angkat pada titik x sepanjang dasar bendung dapat dihitung dengan rumus :

$$P_x = H_x - \left( \frac{L_x}{L} \right) \Delta H \quad (2-48)$$

dimana :

- $P_x$  = gaya angkat pada x ( $t/m^2$ )
- $L$  = panjang total bidang kontak bendung dan tanah bawah (m)
- $L_x$  = jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai x (m)
- $\Delta H$  = beda tinggi energi (m)
- $H_x$  = tinggi energi di hulu bendung (m)

L dan  $L_x$  adalah jarak relatif yang dihitung menurut cara Lane, bergantung arah bidang tersebut. Bidang yang membentuk sudut  $45^0$  atau lebih terhadap bidang horisontal, dianggap vertikal. Tekanan uplift juga ditinjau dalam keadaan banjir.

### 2.14.3. Berat Bangunan

Berat bangunan tergantung pada bahan yang dipakai untuk membuat bangunan itu. Untuk tujuan perencanaan pendahuluan, bisa dipakai harga – harga berat volume di bawah ini :

- Pasangan batu : 2,2 t/m<sup>3</sup>
- Beton tumbuk : 2,3 t/m<sup>3</sup>
- Beton bertulang : 2,4 t/m<sup>3</sup>

berat volume beton tumbuk bergantung pada berat volume agregat serta ukuran maksimum kerikil yang digunakan.

### 2.14.4. Syarat Stabilitas Bendung

#### a. Stabilitas Geser

Untuk menentukan stabilitas terhadap geser, digunakan rumus sebagai berikut (Sosrodarsono, 1994 : 86) :

$$SF = f \frac{\sum V}{\sum H} \quad (2-49)$$

Dimana :

- SF = angka keamanan  
Untuk keadaan normal  $SF \geq 1,5$
- $\sum V$  = jumlah gaya-gaya vertikal (ton)
- $\sum H$  = jumlah gaya-gaya horisontal (ton)
- f = koefisien gesekan, yang terlihat seperti pada Tabel 2.8.

**Tabel 2.8. Harga-Harga Perkiraan Untuk 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
Lampung	0,30

Sumber : Anonim, 1986 : 121

## b. Stabilitas Guling

Bangunan dikatakan aman terhadap pengaruh guling, jika resultan semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horizontal, termasuk gaya angkat, harus memotong bidang ini pada teras. Tidak boleh ada tarikan pada bidang irisan manapun. Rumus kontrol stabilitas terhadap guling :

Kedadaan Normal

$$SF = \frac{\Sigma MT}{\Sigma MG} \geq 1,5 \quad (2-50)$$

Dimana :

$\Sigma MT$  = jumlah momen tahan (t.m)

$\Sigma MG$  = jumlah momen guling (t.m)

SF = faktor keamanan yang diijinkan

### 2.14.5. Kontrol Terhadap Rembesan

Rembesan terjadi apabila bangunan harus mengatasi beda tinggi muka air dan jika aliran yang diakibatkannya meresap masuk ke dalam tanah di sekitar bangunan. Aliran air ini mempunyai pengaruh yang merusakkan stabilitas bangunan karena terangkutnya bahan-bahan halus dapat menyebabkan erosi bawah tanah. Jika erosi bawah tanah sudah terjadi, maka terbentuklah jalur rembesan antara bagian hulu dan hilir bangunan. Hal ini biasanya mengakibatkan kerusakan akibat terkikisnya tanah pondasi.

Terangkutnya bahan halus dan erosi bawah tanah yang diakibatkannya dapat dicegah dengan cara :

1. Memperpanjang jalur rembesan
2. Menggunakan filter

Untuk mengetahui ada atau tidaknya rembesan dapat dihitung dengan beberapa metode, yaitu (Anonim, 1986 : 124) :

1. Metode Bligh
2. Metode Lane
3. Metode Koshla

Metode Lane memberikan hasil yang aman dan mudah dipakai. Metode ini membandingkan panjang jalur rembesan dibawah bangunan sepanjang bidang kontak bangunan/pondasi dengan beda tinggi muka air antara kedua sisi bangunan. Kemiringan yang lebih curam dari 45° dianggap vertikal dan yang kurang dari 45° dianggap horizontal. Jalur vertikal dianggap memiliki daya tahan terhadap aliran 3 kali lebih kuat

dari pada jalur horizontal, oleh karena itu persamaan metode Lane adalah (Anonim, 1986 : 124) :

$$CL = \frac{\Sigma L_V + 1/3 \Sigma L_H}{H} \quad (2-51)$$

Dimana :

- CL = angka rembesan Lane (pada Tabel 2.9.)
- $\Sigma L_V$  = jumlah panjang vertikal (m)
- $\Sigma L_H$  = jumlah panjang horizontal (m)
- H = beda tinggi muka air (m)

**Tabel 2.9. Harga-Harga Minimum Angka Rembesan Lane (CL)**

Bahan	CL
Pasir sangat halus atau lanau	8,5
Pasir halus	7,0
Pasir sedang	6,0
Pasir	5,0
Kerikil halus	4,0
Kerikil sedang	3,5
Kerikil kasar termasuk berangkal	3,0
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5
Lempung lunak	3,0
Lempung sedang	2,0
Lempung keras	1,8
Lempung sangat keras	1,6

*Sumber : Anonim, 1986 : 126*

### 2.15. Saluran Pembawa

Debit rencana saluran pembawa dihitung dengan rumus (Anonim, 1986 : 57) :

$$Q = \frac{C.NFR.A}{e} \quad (2-52)$$

Dimana :

- Q = debit rencana (m<sup>3</sup>/dt)

- C = koefisien pengurangan karena adanya sistem golongan, dimana C = 1 apabila luas daerah layanan < 10.000 ha sehingga tidak dimungkinkan adanya sistem golongan
- NFR = Kebutuhan bersih (netto) air di sawah (lt/det/ha)
- A = Luas daerah yang diiri keseluruhan (ha)
- e = Efisiensi irigasi diiri keseluruhan (%)

### 2.15.1. Dimensi Saluran

Perencanaan dimensi saluran dilakukan dengan menggunakan rumus Strickler. Perencanaan dimensi saluran yang direncanakan baru dilakukan dengan menganggap bahwa aliran di saluran adalah aliran seragam (Unifrom flow) maka digunakan rumus Strickler (Anonim, 1986 : 15) :

$$V = K.R^{2/3} . I^{1/2} \quad (2-53)$$

$$R = A / P \quad (2-54)$$

$$A = b \times h \quad (2-55)$$

$$P = b + 2h \quad (2-56)$$

$$Q = V . A \quad (2-57)$$

dimana :

- Q = debit saluran (m<sup>3</sup>/dt)
- V = kecepatan aliran (m/dt)
- A = luas potongan melintang aliran (m<sup>2</sup>)
- R = jari-jari hidrolis (m)
- P = keliling basah (m)
- b = lebar dasar (m)
- h = tinggi air (m)
- I = kemiringan dasar saluran
- K = Koefisien kekasaran Strickler (m<sup>1/3</sup>/dt)
- w = tinggi jagaan (m)

**Tabel 2.10. Harga Koefisien Kekasaran Bahan untuk Saluran Tanah**

No.	Debit Rencana (m <sup>3</sup> /dt)	Koefisien (K)
1.	$Q > 10$	45,0
2.	$5 < Q < 10$	42,5
3.	$1 < Q < 5$	40,0
4.	$Q < 1$	35,0

Sumber : Anonim, 1986 : 18

**Tabel 2.11. Harga Koefisien Kekasaran Bahan untuk Saluran Pasangan**

No.	Macam Dasar Saluran	Kekasaran (K)
1.	Saluran dengan dinding tidak teratur	36
2.	Sungai dengan dinding tidak teratur	38
3.	Saluran dan saluran tersier dengan tangkis baru	40
4.	Saluran baru tidak bertangkis	43,5
5.	Saluran induk dan sekunder dengan $Q < 7,5 \text{ m}^3/\text{dt}$	45 – 47,5
6.	Saluran terpelihara dengan $Q > 10 \text{ m}^3/\text{dt}$	50
7.	Saluran dengan pasangan batu belah dan plesteran atau beton tidak diplester	60
8.	Beton licin atau papan kayu	90

Sumber : Anonim, 1976 : 7

Kecepatan maksimum yang diijinkan untuk saluran pembawa tanpa pasangan ditinjau dengan menggunakan persamaan (Anonim, 1986 : 21) :

$$V_{\text{maks}} = V_b \times A \times B \times C \quad (2-58)$$

Dimana :

$V_{\text{maks}}$  = kecepatan maksimum yang diijinkan (m/dt)

$V_b$  = kecepatan dasar (m/dt)

A = faktor koreksi untuk angka pori permukaan saluran

B = faktor koreksi untuk kedalaman air

C = faktor koreksi untuk lengkung saluran

Sedangkan untuk saluran pembawa dengan pasangan kecepatan maksimum yang diijinkan adalah (Anonim, 1986 : 39) :

Untuk pasangan batu kali,  $V_{\text{maks}} = 2 \text{ m/dt}$

Untuk beton,  $V_{\text{maks}} = 3 \text{ m/dt}$

Untuk pasangan tanah = kecepatan maksimum yang diijinkan

### 2.15.2. Tinggi Jagaan

Besarnya tinggi jagaan ( $w$ ) untuk saluran tanah dan pasangan dalam kaitannya dengan debit rencana ditetapkan sebagaimana yang tercantum dalam tabel 2.12.

**Tabel 2.12. Tinggi Jagaan Minimum**

No.	Debit Rencana ( $m^3/dt$ )	Tinggi Jagaan Minimum (m)	
		Saluran Tanah	Saluran Pasangan
1.	< 0,5	0,40	0,20
2.	0,5 - 1,5	0,50	0,20
3.	1,5 - 5,0	0,60	0,25
4.	5,0 - 10,0	0,75	0,30
5.	10,0 - 15,0	0,85	0,40
6.	> 15,0	1,00	0,50

Sumber : Anonim, 1986 : 43

### 2.15.3. Kemiringan Talud

Kemiringan talud akan didesain securam mungkin sesuai dengan jenis tanahnya.

Kemiringan talud yang dianjurkan diberikan dalam tabel 2.13. berikut :

**Tabel 2.13. Kemiringan Talud Minimum untuk Saluran Tanah**

No.	Kedalaman Air dan Tinggi Jagaan	Kemiringan Minimum Talud
1.	$D \leq 1,0$	1 : 1
2.	$1,0 < D \leq 2,0$	1 : 1,5
3.	$D > 2,0$	1 : 2

Sumber : Anonim, 1986 : 24

### 2.15.4. Tanggul

Untuk kepentingan eksploitasi dan pemeliharaan khususnya inspeksi diperlukan tanggul sepanjang saluran dengan lebar minimum yang dianjurkan dihubungkan dengan besarnya debit rencana, seperti ditunjukkan pada tabel 2.14. dibawah ini :

**Tabel 2.14. Lebar Minimum Tanggul**

No.	Debit Rencana ( $m^3/dt$ )	Dengan Jalan Inspeksi (m)	Tanpa Jalan Inspeksi (m)
1.	$Q < 1$	1,00	3,00
2.	$1 < Q < 5$	1,50	5,00
3.	$5 < Q < 10$	2,00	5,00
4.	$10 < Q < 15$	3,50	5,00
5.	$Q > 15$	3,50	5,00

Sumber : Anonim, 1986 : 27

**Tabel 2.15. Perbandingan b dan h (m)**

Q(m <sup>3</sup> /dt)	m = b/h
0,0 – 0,5	1,0
0,5 – 1,0	1,5
1,0 – 1,5	2,0
1,5 – 3,0	2,5
3,0 – 4,5	3,0
4,5 – 6,0	3,5
6,0 – 7,5	4,0
7,5 – 9,0	4,5
9,0 – 11,0	5,0

Sumber : Anonim, 1978 : 8

### 2.16. Lay Out Petak Tersier

Untuk menentukan layout, aspek-aspek berikut akan dipertimbangkan :

- a. luas petak tersier
- b. batas-batas petak tersier
- c. bentuk yang optimal
- d. kondisi medan
- e. jaringan irigasi yang ada
- f. eksploitasi jaringan

Maka perencanaan petak tersier harus menghasilkan perbaikan kondisi pertanian.

Masalah-masalah yang diperkirakan akan mengganggu tujuan tersebut harus dikenali dan dipertimbangkan dalam pembuatan lay out dan perencanaan jaringan tersier.

Dasar pertimbangan dalam perencanaan lay out jaringan tersier DI Kainui yang direncanakan antara lain adalah :

1. Memanfaatkan seoptimal mungkin areal potensi yang ada dengan memperhatikan potensi debit pada sumber air (Kali Dingin).
2. Memanfaatkan alur-alur alam (*existing allignment*) yang mempunyai relevansi terhadap sistem yang direncanakan.
3. Memperhatikan kondisi topografi di lokasi studi, agar distribusi air secara gravitasi dapat berlangsung.

4. Mempertimbangkan kondisi yang paling menguntungkan ditinjau dari aspek teknis, ekonomis dan kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan maupun operasi dan pemeliharaannya.
5. Khususnya mengenai *alignment* jaringan pembuang, diusahakan sedapat mungkin mampu mendrain genangan air pada daerah terendah (cekungan).

## 2.17. Bangunan Pelengkap

### 2.17.1. Bangunan Pengatur Tinggi Muka Air

Banyak jaringan irigasi dieksploitasi sedemikian rupa sehingga muka air di saluran primer dan saluran cabang dapat diatur pada batas-batas tertentu oleh bangunan-bangunan pengatur. Dalam keadaan eksploitasi demikian, muka air dalam hubungannya dengan bangunan sadap tetap konstan. Untuk saluran yang lebar ( $> 2$  m) lebih disarankan untuk memakai kombinasi beberapa tipe bangunan pengatur muka air, yaitu:

1. Skot balok dengan pintu bawah
2. Mercu tetap
3. Skot balok

untuk daerah bagian pegunungan / hulu dan untuk memudahkan pengoperasian dan pemeliharaan jaringan irigasinya, dikarenakan topografi daerahnya yang berbukit, maka untuk bangunan pengatur tinggi muka air hendaknya memakai pintu sorong.

Pintu sorong digunakan karena alasan-alasan tertentu yaitu :

1. Mudah pengoperasiannya
2. Debit yang dilewatkan bebas
3. Ketelitian bukaan tidak terbatas
4. Awet dan tidak mudah hilang

Ukuran lebar standar untuk pintu sorong adalah 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 dan 1,50 m. Untuk kedua ukuran terakhir diperlukan dua stang pengangkat.

Rumus hidrolis (Anonim, 1986 : 9) :

$$Q = C_d \cdot C_v \cdot b \cdot a \sqrt{2g(y_1 - y)} \quad (2-59)$$

Dimana :

- Q = debit intake ( $m^3/dt$ )  
 b = lebar pintu (m)  
 a = w = tinggi bukaan pintu  
 g = percepatan gravitasi ( $m/dt^2$ )

- $y_1$  = tinggi muka air di hulu intake (m)  
 $y$  = tinggi loncatan hidrolis air pada bukaan pintu  
 =  $\delta \cdot w$   
 $C_v$  = Koefisien kontraksi pada pintu intake  
 $C_d$  = koefisien debit pada pintu intake

### 2.17.2. Bangunan Pengukur Debit

Agar pengolahan air irigasi menjadi efektif, maka debit harus diukur pada hulu saluran primer, pada cabang saluran dan pada bangunan sadap tersier. Ada banyak tipe bangunan ukur tetapi hanya beberapa tipe yang disarankan untuk digunakan.

Hal ini berhubungan dengan faktor berikut

1. Kecocokan bangunan untuk keperluan pengukuran debit
2. Ketelitian pengukuran di lapangan
3. Bangunan yang kokoh, sederhana dan teliti
4. Rumus debit sederhana dan teliti
5. Eksploitasi dan pembacaan papan duga mudah
6. Pemeliharaan sederhana dan mudah
7. Cocok dengan kondisi setempat dan dapat diterima oleh para petani

Bangunan ukur yang dipakai pada suatu daerah irigasi, sesuai dengan bangunan pengatur tinggi muka air yang direncanakan, biasanya dipakai alat ukur ambang lebar. Bangunan ukur ambang lebar dianjurkan karena bangunan itu kokoh dan mudah dibuat, serta mempunyai bentuk mercu yang bermacam-macam, bangunan ini juga mempunyai kelebihan karena mudah disesuaikan dengan bentuk saluran apa saja. Karena hubungan tunggal antara tinggi air hulu dan debit, maka besarnya debit dapat dibaca langsung pada papan duga. Alat ukur ambang lebar adalah bangunan aliran atas (overflow), untuk itu tinggi energi hulu lebih kecil dari panjang mercu. Karena pola aliran di atas alat ukur ambang lebar dapat ditangani teori hidrolika yang ada sekarang, maka bangunan ini bisa mempunyai bentuk yang berbeda-beda, sementara debitnya tetap serupa.

Rumus hidrolis (Anonim, 1986 : 16) :

$$Q = C_d \cdot C_v \cdot 2/3 \cdot \sqrt{(2/3 g)} b h_1^{1.5} \quad (2-60)$$

Dimana :

- $Q$  = debit ( $m^3/dt$ )  
 $C_d$  = koefisien debit  
 =  $(0,93 + 0,10 H_1/L ; 0,1 < H_1/L < 1,0)$   
 $H_1$  adalah tinggi energi hulu (m)

- L adalah panjang mercu (m)
- $C_v$  = koefisien kecepatan datang
- $C_v = \frac{H_1}{h_1}$  atau dapat dicari secara grafis
- b = lebar mercu (m)
- g = percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/dt}^2$ )
- $h_1$  = kedalaman air hulu terhadap ambang bangunan ukur (m)
- H = tinggi energi hulu terhadap mercu
- $\approx h_1 + v^2/2g$

## 2.18. Analisa Biaya

### 2.18.1. Volume Pekerjaan Satuan

Volume suatu pekerjaan adalah menghitung banyaknya pekerjaan dalam satu satuan. Volume pekerjaan juga disebut sebagai kubikasi pekerjaan. Jadi volume pekerjaan bukan merupakan volume (isi) yang sesungguhnya melainkan jumlah volume pekerjaan dalam satu kesatuan. Volume pekerjaan dapat dihitung dengan satuan  $\text{m}^3$  (isi),  $\text{m}^2$  (luas) dan m (panjang).

### 2.18.2. Harga Satuan Pekerjaan

Harga satuan pekerjaan merupakan gabungan dari harga bahan dengan besar upah pekerja. Harga satuan pekerjaan ini biasanya memakai analisa biaya BOW (*Burgerlijke Openware Werken*). Sebagai contoh adalah sebagai berikut :

Untuk mengerjakan  $1 \text{ m}^3$  galian tanah biasa diperlukan tenaga dan biaya dari 0,75 pekerja dan 0,025 mandor.

### 2.18.3. Rencana Anggaran Biaya

RAB (Rencana Anggaran Biaya) merupakan perhitungan biaya – biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan analisis tertentu dan biaya – biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan pekerjaan. Tujuan pembuatan RAB adalah untuk memberikan gambaran mengenai bentuk/konstruksi, besar biaya dan pelaksanaan serta penyelesaian. Besarnya RAB dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{RAB} = \sum (\text{Volume} \times \text{Harga satuan pekerjaan}) \quad (2-61)$$