

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Analisa Hidrologi**

##### **2.1.1. Analisa Hujan**

###### *1. Analisa Hujan rata-rata*

Analisa hidrologi merupakan suatu bagian dalam perencanaan bangunan air, yang mengandung pengertian bahwa informasi dan nilai-nilai yang diperoleh dari analisa hidrologi merupakan awal yang sangat penting dalam menganalisa permasalahan pada tahap berikutnya.

Hujan merupakan komponen yang sangat penting di dalam proses hidrologi. Dengan hujan maka aliran air sungai menjadi bertambah karena air hujan yang turun pada permukaan bumi akan mencari permukaan tanah yang rendah untuk kemudian mengalir menuju saluran/sungai yang ada.

Perumusan tinggi hujan rata-rata yang dipakai adalah metode Aritmatik

(*Mean Arithmatik Method*) dengan data hujan harian maksimum pada tahun 1978 sampai dengan tahun 2002. Rumus ini dipakai dengan mempertimbangkan bahwa daerah studi merupakan daerah datar dan banyak terdapat stasiun penakar hujan, sehingga pola hujan relatif datar (*uniform*). Stasiun penakar hujan yang terdekat dengan wilayah studi berada diluar daerah aliran, meliputi : Stasiun Gunungsari, stasiun Kebon Agung, stasiun Wonorejo dan stasiun Keputih. Rumus yang dipakai adalah sebagai berikut :

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n R_t$$

..... (2.1)

Dimana :

R = Tinggi hujan rata-rata (mm)

R<sub>t</sub> = Hujan Harian maksimum (mm)

N = Jumlah data

2. Analisa Frekwensi Hujan Rencana

Analisa frekwensi adalah analisa tentang pengulangan suatu kejadian untuk meramalkan atau menentukan periode ulang berikut nilai probabilitasnya. Adapun distribusi probabilitas yang dipakai adalah distribusi variable acak kontinyu, antara lain :

1. Distribusi Log Normal
2. Distribusi Gumbel
3. Distribusi Normal
4. Distribusi Pearson tipe III

Untuk mendapatkan distribusi hujan dengan kala ulang tertentu harus dianalisa dahulu data curah hujan yang ada dengan parameter-parameter statistik. Tujuan dari analisa ini adalah untuk mengetahui jenis distribusi yang sesuai dengan data tersebut. Parameter-parameter tersebut antara lain :

a. Nilai rata-rata :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata variabel X

$X_i$  = Nilai Varian X

n = Jumlah data

b. Standart Deviasi

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

Sd = Standart deviasi;

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata variabel X

$X_i$  = Nilai Varian X

n = Jumlah data.

c. Koefisien of Varian (Cv)

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

Sd = Standart deviasi;

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata variabel X

d. Koefisien Skewness (Cs)

Koefisien Skewness digunakan untuk mengetahui ukuran asimetri atau penyimpangan kesimetrian suatu distribusi dan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Cs = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{Sd^3} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

Cs = koefisien Skewness

Sd = Standart deviasi;

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata variabel X

$X_i$  = Nilai Varian X

n = Jumlah data

e. Koefisien Curtosis (Ck)

Koefisien kurtosis digunakan untuk mengukur distribusi variabel, yang merupakan kepuncakan distribusi. Biasanya hal ini dibandingkan dengan distribusi normal yang mempunyai koefisien curtosis. Koefisien Curtosis dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3).Sd^3} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

- Cs = koefisien Skewness
- Sd = Standart deviasi;
- $\bar{X}$  = Nilai rata-rata variabel X
- Xi = Nilai Varian X
- n = Jumlah data

*Tabel. 2.1. Persyaratan pemilihan salah satu metode perhitungan*

Jenis Distribusi Frekwensi	Syarat Distribusi
1. Distribusi Normal	$C_s = 0$ dan $C_k = 3$
2. Distribusi Log Normal	$C_s > 0$ dan $C_k > 3$
3. Distribusi Gumbel	$C_s = 1,139$ dan $C_k = 5,402$
4. Distribusi Log Pearson Type III	$C_s$ antara 0 s/d 0,9

*Sumber : Hidrologi I “Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data” Soewarno*

Pemilihan distribusi sebaran diatas sangat membantu dalam suatu perencanaan bangunan air termasuk sistim pematuan. Pemilihan ini berfungsi untuk memperkecil angka kesalahan yang diakibatkan oleh terlalu besar perhitungan atau terlalu kecilnya perhitungan.

**2.1.2. Distribusi Frekwensi**

Sebelum dilakukan pemilihan jenis distribusi frekwensi yang cocok sesuai dengan persyaratan yang ada, maka untuk lebih jelas akan diperlihatkan perumusan beberapa distribusi sebaran, antara lain :

*a. Distribusi Pearson Type III*

Perhitungan distribusi Pearson Type III dengan menggunakan persamaan berikut:

$$x = \bar{x} + K\sigma \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$x$  = Besarnya suatu terjadi

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata hitung dari variable X

$\sigma$  = Simpangan baku dari nilai-nilai variable X

K = Faktor sifat dari distribusi Pearson Type III yang didapat dari table fungsi Cs dan probabilitas kejadian ( P )



\*) Sumber : Mengenal dasar-dasar hidrologi, Joyce M.W, Ir Wanny Adidarma Dipl.H.

b. Distribusi Log Pearson Type III

$$\text{Log } x = \log \bar{x} + k S \text{ Log } x \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

Log x = Nilai variat x yang diharapkan terjadi pada peluang atau periode tertentu

$\bar{x}$  = Rata-rata nilai x hasil pengamatan

S Log x = Deviasi standart logaritmik nilai x hasil pengamatan

K = Karakteristik dari distribusi Log Pearson Type III  
Nilai k dapat diperoleh dari table yang merupakan fungsi peluang kumulatif dan periode ulang

### 2.1.3. Uji Kecocokan Frekwensi

Untuk menentukan kecocokan distribusi frekwensi dari sample data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan, hal ini dimaksudkan untuk mewakili atau menggambarkan distribusi frekwensi tersebut. Adapun parameter pengujian tersebut antara lain :

#### 1. Uji Chi Square ( Chi Kwadrat )

Uji Chi Square dimasukkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sample data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter  $\chi^2$  , oleh karena itu disebut Chi Kwadrat. Sebagai parameter dari uji Chi Square adalah  $\chi^2$  yang dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$\chi^2$  = Parameter Chi Square terhitung

$O_i$  = Jumlah nilai pengambilan pada sub kelompok ke-1

$E_i$  = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-1

Prosedur Uji Chi Square adalah :

1. Urutkan data pengamatan dari besar ke kecil atau sebaliknya
2. Kelompokkan data menjadi beberapa sub grup, tiap sub grup minimal empat data pengamatan.
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar  $O_i$  tiap-tiap sub grup
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar  $O_i$
5. Tiap-tiap sub grup dihitung nilai :  $(O_i - E_i)^2$  dan  $(O_i - E_i)^2 / E_i$
6. Jumlahkan seluruh grup nilai  $(O_i - E_i)^2 / E_i$  untuk menentukan Chi Square hitung
7. Tentukan derajat kebebasan  $(dk) = G - R - 1$  ( nilai  $R=2$  untuk distribusi normal dan binomial, nilai  $R= 1$  untuk diostribusi poison )

Agar uji distribusi yang dipilih dapat diterima maka harga  $\chi^2 < \chi^2_{\alpha}$ .

Mencari nilai  $\chi^2$  dapat diperoleh dengan menentukan nilai dk (derajat kebebasan) dengan Interpretasi dari hasil adalah :

- ❖ Apabila peluang  $> 5 \%$  maka persamaan distribusi diterima
- ❖ Apabila peluang  $< 5 \%$  maka persamaan distribusi tidak dapat diterima
- ❖ Apabila peluang antara ( 1-5 ) % adalah tidak mungkin sehingga perlu penambahan data

## 2. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov Kolmogorov sering juga disebut uji kecocokan non parameter ( non parameter test ), hal ini dikarenakan tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu dalam perhitungannya.

Prosedur perhitungannya sebagai berikut :

- a. Data yang ada diurutkan mulai dari yang kecil atau sebaliknya dan setelah itu tentukan masing-masing besarnya peluang dari setiap data.

- b. Tentukan nilai dari masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).
- c. Dari kedua nilai peluang tersebut tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
- d. Berdasarkan table nilai kritis ( Smirnov Kolmogorov Test ) tentukan harga  $D_0$  ( lihat table 3.10 )
  - i. Apabila  $D < D_0$  distribusi teoritis dapat diterima
  - ii. Apabila  $D > D_0$  distribusi teoritis tidak dapat diterima

## **2.2. Distribusi Curah Hujan**

### **2.2.1. Penjelasan Umum**

Pembagian curah hujan tiap jam dihitung dengan metode Rasional. Asumsi awal dalam pembagian curah hujan ini adalah bahwa tinggi hujan

rencana dengan periode ulang tertentu terjadi selama 5 jam. Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\bar{R}_t = R_0 \left( \frac{5}{t} \right)^{2/3} \quad R_0 = \frac{R_{24}}{5} \quad R_{24} = f \cdot R_x \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

$\bar{R}_t$  = hujan rata-rata sampai jam ke-t.

$R_{24}$  = hujan efektif selama 24 jam

$R_x$  = hujan rata-rata rencana dalam daerah pengaliran.

Sedangkan perhitungan curah hujan pada jam ke-t adalah sebagai berikut :

$$R_t = t \cdot R_t - (t - 1) \cdot R_{(t-1)}$$

$R_t$  = Curah hujan pada jam ke-t.

### 2.2.2. Hidrograf Satuan Sintesis

Karena data yang tersedia adalah data curah hujan diperoleh dari stasiun pengamatan curah hujan dan karakteristik daerah pematusan, maka kita akan dapat memperkirakan besar hujan rencana dan

memperkirakan debit banjir rencana dengan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sistesis. Salah satu metode yang dipakai adalah Nakayasu.

Perumusannya adalah sebagai berikut :

$$Q_{\max} = \frac{A.R_0}{3,6.(0,3T_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

- $Q_{\max}$  = Debit puncak (m<sup>3</sup>/dt)
- A = Luas Daerah pengaliran (Km<sup>2</sup>)
- R<sub>0</sub> = Curah hujan efektif (mm)
- T<sub>p</sub> = Waktu Puncak (jam)
- T<sub>0,3</sub> = Waktu yang diperlukan untuk penurunan debit, dari Q<sub>p</sub> sampai menjadi 30% Q<sub>p</sub> (jam).

Untuk harga T<sub>p</sub> dan T<sub>0,3</sub> ditentukan dengan cara pendekatan sebagai berikut :

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

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

$$T_g = 0,21 (L)^{0,7} \text{ untuk } L \leq 15 \text{ Km}$$

$$T_g = 0,4 + 0,058.L \text{ untuk } L \geq 15 \text{ Km}$$

Dimana :

Tg = Time lag dari daerah pengaliran  
(Jam)

Tr = satuan waktu curah hujan

L = panjang sungai (km)

$\alpha$  = Koefisien yang besarnya  
berkisar antara 1,5 – 3,5

### 2.3. FloodRouting

Flood routing atau penelusuran banjir adalah merupakan peramalan hydrograph disuatu titik pada suatu aliran atau bagian sungai yang didasarkan atas pengamatan hydrograph di titik lain, hydrograph banjir dapat ditelusuri lewat palung sungai atau lewat waduk. Penelusuran lewat suatu penampang saluran merupakan fungsi langsung dari aliran keluar ( outflow ), maka cara penyelesaiannya dapat ditempuh dengan cara yang lebih eksak. Persamaan yang dipakai adalah Persamaan Muskingum, yaitu sebagai berikut :



$$S = \frac{b}{a} \left[ X.I^{\frac{m}{n}} + (1-X).O^{-\frac{m}{n}} \right] \dots (2.11)$$

Dimana :

a dan n = Konstanta hubungan antara tinggi muka air dengan debit

b dan m = Konstanta hubungan antara tinggi muka air dengan storage

Umumnya pengamatan routing dimisalkan sebagai berikut :

$$m/n = 1 \text{ dan } b/a = k$$

Maka Persamaan menjadi :

$$S = k[X.I + (1-X).O] \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

X = faktor pembobot yang berhubungan dengan inflow dan outflow, harganya berkisar antara 0 – 0.5

k = b/a = konstanta penampungan

I = Inflow (m<sup>3</sup>/dt)

O = Outflow (m<sup>3</sup>/dt)

S = Storage/penampungan (m<sup>3</sup>)

#### 2.4. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah perbandingan antara air yang mengalir di permukaan tanah dengan air hujan yang jatuh, maka koefisien pengaliran (*Run Off*) bergantung pada jenis permukaan tanah dan tata guna lahan (*Land Use*) daerah aliran. Untuk daerah aliran dimana penggunaan lahannya bervariasi, maka koefisiennya merupakan gabungan. Harga-harga koefisien pengaliran dapat dilihat pada *Tabel*. 2.3.dibawah ini.

Tabel. 2.2. Harga Koefisien Pengaliran (C)

No	Type Area	Koefisien Pengaliran (C)
A.	Perkantoran	
	1. Daerah Pusat kota	0.70 - 0.90
	2. Daerah sekitar kota	0.50 - 0.70
B.	Perumahan	
	1. Rumah Tinggal	0.30 - 0.50
	2. Rumah susun, terpisah	0.40 - 0.60
	3. Rumah Susun, bergabung	0.60 - 0.75
	4. Rumah Tinggal di pinggiran kota	0.25 - 0.40
C.	Daerah Industri	
	1. Kurang padat	0.50 - 0.80
	2. Padat	0.60 - 0.90
D.	Tanah Lapang	
	1. Berpasir 2% datar	0.05 - 0.10
	2. Berpasir 2 - 7 % agak rata	0.10 - 0.15
	3. Berpasir > 7 %	0.15 - 0.20
	4. Tanah datar 2%	0.13 - 0.17
	5. Tanah agak datar 2 - 7%	0.18 - 0.22
	6. Tanah agak miring > 7 %	0.25 - 0.35
E.	Tanah Pertanian 0 - 30 %	
	1. Tanah kosong rata	0.30 - 0.60
	2. Tanah kosong kasar	0.20 - 0.5
F.	Lahan Terbuka	
	1. Taman, kuburan	0.10 - 0.25
	2. Tempat bermain	0.20 - 0.35
	3. Daerah stasiun K.A	0.20 - 0.40
	4. Daerah tak berkembang	0.10 - 0.30
G.	Jalan Raya	
	1. Beraspal	0.70 - 0.95
	2. Berbeton	0.8 - 0.95
	3. Berbatu-batu	0.70 - 0.85
	4. Trotoar	0.70 - 0.85

(Sumber : "US Forest Service", 1980)

**2.5. Analisa Limpasan**

**2.5.1. Perhitungan Debit Rencana**

Perhitungan debit banjir rencana dengan periode ulang tertentu pada perencanaan ini menggunakan Metode Rasional. Perumusan dari Metode Rasional ini mempunyai dasar pemikiran bahwa bila hujan jatuh dengan jumlah per satuan waktu yang tetap pada suatu permukaan kedap air, maka laju limpasan dari permukaan tanah itu akan sama dengan laju curah hujannya. Perhitungan debit banjir rencana dalam Tugas Akhir ini ada dua macam yaitu: debit banjir rencana berdasarkan analisa hidrologi dan debit banjir rencana berdasarkan air buangan dari rumah tangga, industri, fasilitas umum seperti pasar, puskesmas, kantor dan lain-lain. Untuk limpasan hidrologi dipakai rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3,6} \cdot C.I.A \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

- Q = Debit Banjir (M<sup>3</sup>/dt)  
C = Koefisien Pengaliran  
I = Intensitas hujan (mm/jam)  
A = Luas Daerah pematusan (Km<sup>2</sup>)

### **2.5.2. Intensitas Hujan (I)**

Intensitas Hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi per-satuan waktu, dimana air tersebut terkonsentrasi. Analisis intensitas hujan ini diproses dari data hujan yang terjadi pada masa lampau. Di lokasi studi, penakar hujan yang ada merupakan penakar hujan harian. Namun perlu diketahui bahwa hujan yang terjadi tidak selama satu hari penuh melainkan terjadi beberapa jam yang mengakibatkan tinggi hujan tercatat pada penakar hujan. Untuk perhitungan Intensitas Hujan setiap waktu berdasarkan data curah hujan harian dipakai rumus Dr. Mononobe sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :  $I_T$  = Intensitas curah hujan  
(mm/jam)

$t$  = Lama Waktu

Konsentrasi (Jam)

$m$  = Konstanta.....  $2/3$

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

**2.5.3. Waktu Konsentrasi ( $t_c$ )**

Waktu Konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air pada daerah pengaliran, dari titik terjauh sampai titik yang ditinjau. Untuk daerah perkotaan,  $t_c$  (*time of concetration*) adalah waktu yang dibutuhkan oleh air untuk mengalir dari atap bangunan kemudian mengalir di atas muka tanah, sampai ke saluran terdekat, dan ditambah waktu mengalir di saluran sampai dengan titik yang ditinjau. Faktor-faktor yang mempengaruhi waktu konsentrasi adalah

panjang aliran, kemiringan medan, kekasaran medan, koefisien infiltrasi. Dalam perhitungannya dipakai persamaan sebagai berikut :

1. Khusus untuk saluran Primer, sekunder, tersier

$$t_f = \frac{L}{60V} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

- tf = Waktu Konsentrasi di saluran (menit)
- L = Panjang aliran diatas permukaan (m)
- V = Kecepatan Aliran (m/dt)

2. Khusus untuk lahan/ petak-petak kecil

Dipakai Rumus Kerby

$$t_o = 1,44x \left( L_o \frac{n}{\sqrt{S_o}} \right)^{0,467} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

- to = Lama Waktu konsentrasi pada lahan (menit)

## TINJAUAN PUSTAKA

---

- Lo = Panjang lahan dari titik terjauh sampai dengan saluran yang ditinjau.
- n = Tipe permukaan tanah.
- So = Kemiringan permukaan air

Tabel.2.3. Harga *n* (Tipe Permukaan Tanah)

Tipe Permukaan Tanah	Nilai <i>n</i>
Permukaan Kedap air	0,02
Permukaan tanah berumput jarang	0,20
Permukaan tanah berumput	0,80

Sumber : *Applied Hidrology, Ven te Chow*

Sehingga untuk mencari waktu konsentrasi pada suatu titik (*tc*) sebagai berikut:

$$tc = to + tf \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

*tc* = Waktu yang diperlukan air untuk mencapai suatu titik konsentrasi (Menit)

*to* = Lama Waktu Konsentrasi pada lahan (menit)

*tf* = Waktu Konsentrasi di saluran (menit)



#### **2.5.4. Perhitungan Debit Air Buangan**

Air merupakan kebutuhan pokok manusia sehari-hari. Setiap orang pasti membutuhkan air baik untuk mandi, mencuci dan lain-lain. Oleh karena itu setiap hari orang akan membuang air sisa tersebut menuju saluran-saluran air yang ada disekitarnya. Meskipun tidak terlalu besar, air buangan penduduk di Kawasan studi perlu diperhitungkan sebagai tambahan debit air hujan yang masuk ke dalam saluran. Perkiraan jumlah kebutuhan air bersih untuk kawasan studi diperhitungkan rata-rata berdasarkan :

- a. Jumlah penduduk (Domestik)
- b. Macam Aktivitas kawasan (Non Domestik)

Tabel. 2.4. Standard Pemakaian Air Bersih

No	Type Area	Kebutuhan (K)	Satuan
A.	Domestik		
	1. Rumah Tangga	120	Liter/jiwa/hari
	2. Sambungan Umum	30	Liter/jiwa/hari
B.	Non Domestik		
	1. Industri	15000	Liter/Unit/hari
	2. Pertokoan	1200	Liter/Unit/hari
	3. Perkantoran	1000	Liter/Unit/hari
	4. Hotel	4000	Liter/Unit/hari
	5. Restoran	1000	Liter/Unit/hari
	6. Warung	250	Liter/Unit/hari
	7. Bioskop	2000	Liter/Unit/hari
	8. Pasar	3000	Liter/Unit/hari
	9. Puskesmas	1000	Liter/Unit/hari
	10. Rumah sakit	6000	Liter/Unit/hari
	11. Posyandu	250	Liter/Unit/hari
	12. BKIA	1000	Liter/Unit/hari
	13. Masjid	2500	Liter/Unit/hari
	14. Gereja	1000	Liter/Unit/hari
	15. sekolah	2000	Liter/Unit/hari
	16. Perguruan Tinggi	3000	Liter/Unit/hari
	17. Instansi Pemerintah	1000	Liter/Unit/hari

Sumber : Teknik Penyehatan II ,ITS

Sumber : Teknik Penyehatan II ,ITS

Persamaan yang digunakan adalah

$$Q = P \times K \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

P = Jumlah Penduduk (Jiwa)

K = Kebutuhan air (lt/dt/hari)

Q = Debit air buangan (lt/hari)

### 2.5.5. Aliran Dasar (Base Flow)

Aliran dasar (*Base flow*) adalah limpasan permukaan minimum yang masih ada, karena adanya aliran yang keluar dari tanah/akifer. Bila tidak terjadi hujan (kemarau) biasanya sungai masih terdapat aliran. Aliran inilah yang disebut *Base Flow*.

Pendekatan perumusan untuk menghitung base flow adalah :

$$Q_t = Q_o \cdot e^{-\alpha \cdot \tau} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :

$Q_t$  = Debit pada awal periode

$Q_o$  = Debit Pada Akhir Periode

$\alpha$  = Koefisien Akuifer

e = 2,71828

t = Waktu (hari)

## 2.6. Kapasitas Saluran

Dimensi saluran direncanakan agar mampu melewati debit rencana. Perhitungan dimensi saluran pada perencanaan drainase mengikuti konsep “diagram pohon” dimana semakin ke bawah (hilir) diperoleh dimensi semakin besar. Persamaan yang digunakan adalah persamaan manning yang berlaku untuk aliran seragam (*Uniform flow*), sehingga asumsi kemiringan muka air sejajar dengan kemiringan dasar saluran. Rumus Manning dianjurkan untuk dipakai dalam saluran buatan dengan atau tanpa pasangan (lining)

kecepatan aliran perlu dikontrol agar aliran yang direncanakan merupakan aliran yang stabil. Aliran terbagi menjadi tiga macam, yaitu: aliran super kritis, aliran kritis dan aliran sub kritis. Penampang memanjang saluran yang ditinjau: kemiringan saluran, elevasi muka tanah asli, elevasi dasar saluran, elevasi muka air,

elevasi tanggul saluran dan elevasi bangunan perlintasan (gorong-gorong).

$$Q = V.A$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

Q = Debit Saluran terbuka (M<sup>3</sup>/dt)

V = Kecepatan rata-rata (M/dt)

A = Luas penampang (M<sup>2</sup>)

R = Jari-jari hidrolis

I = Kemiringan saluran

n = Koefisien Kekasaran Manning

**Tabel. 2.5. Nilai Koefisien Kekasaran Manning (n)**

No.	Tipe Saluran dan Deskripsi	n
1.	Saluran, dilapis atau dipoles beton dengan adukan semprot, penampang rata.	0.20
2.		0.15
3.	Saluran, dilapis atau dipoles beton dengan bata dalam adukan semen.	0.30
4.	Saluran , digali atau dikeruk pada tanah dengan rumput dan beberapa tanaman pengganggu diatasnya	0.80

	Saluran , digali atau dikeruk pada tanah dengan tanaman pengganggu dan belukar tidak dipotong setinggi air (tidak dirawat)	
--	--	--

*Sumber : Hidrolika Saluran Terbuka, Ven Te Chow*

## **2.7. Perhitungan Debit Banjir Rencana Pada Spillway**

Dalam perencanaan bangunan air seperti bendungan, spillway, konsolidasi dam, flood control, drainase dan sebagainya perlu memperkirakan debit terbesar dari aliran sungai atau saluran yang mungkin terjadi dalam suatu periode tertentu yang disebut debit rencana. Periode tertentu yang mungkin terjadi banjir rencana disebut periode ulang.

Perhitungan debit banjir rencana untuk perencanaan spillway ini dilakukan berdasarkan hujan harian maximum yang terjadi pada periode ulang tertentu. Hal ini dilakukan mengingat adanya hubungan antara hujan dan aliran sungai dimana besarnya aliran dalam sungai ditentukan utamanya oleh besarnya hujan, intensitas hujan, luas daerah hujan, luas daerah aliran sungai dan

ciri-ciri daerah lain. Metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana adalah metode empiris yang menggunakan hubungan antara debit dan intensitas hujan diturunkan menurut persamaan matematis, metode empiris yang akan digunakan antara lain :

**2.7.1. Unit Hydrograph Nakayasu**

Persamaan umum Unit Hydrograph Nakayasu :

$$Q_p = \frac{A \cdot R_o}{3.6(1.3T_p + T_{0.3})}$$

.....(2.21)

Dimana:

- Qp = Puncak banjir ( m<sup>3</sup>/dt )
- A = Luas DAS ( km<sup>2</sup> )
- Ro = Curah hujan satuan tiap jam ( mm )
- Tp = Selang waktu dari permulaan banjir sampai puncak banjir

$T_{0.3}$  =Selang waktu penurunan dari puncak banjir menjadi 30% puncak banjir

Untuk mendapatkan  $T_p$  dan  $T_{0.3}$  digunakan rumus empiris :

$$T_g = 0.4 + 0.058 L, \text{ bila } L > 15 \text{ km}$$

$$T_g = 0.21 L^{0.7}, \text{ bila } L < 15 \text{ km}$$

$$T_p = T_g + 0.8 t_r$$

$$T_{0.3} = \alpha T_g$$

Dimana :

L = Panjang sungai

$T_g$  =waktu konsentrasi pada daerah pengaliran, besarnya tergantung dari panjang sungai ( jam )

$T_r$  = satuan waktu hujan atau time duration, diambil 1 jam

A = Koefisien perbandingan



Persamaan Unit Hydrograph :

1. Pada kurva naik ( $0 < t < T_p$ )

$$Q = \left( \frac{t}{T_p} \right)^{2.4} \times Q_p$$

2. Pada kurva turun ( $T_p < t \ll T_p + T_{0.3}$ )

$$Q = 0.3 \left( \frac{t - T_p}{T_{0.3}} \right) Q_p$$

3. Pada kurva turun ( $T_p + T_{0.3} < t \ll T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3}$ )

$$Q = 0.3 \left( \frac{t - T_p + 0.5 T_{0.3}}{1.5 T_{0.3}} \right) Q_p$$

4. Pada kurva turun ( $t > T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3}$ )

$$Q = 0.3 \left( \frac{t - T_p + 0.5 T_{0.3}}{1.5 T_{0.3}} \right) Q_p$$

### 2.7.2. Unit Hydrograp Snyder Alexeyev

Cara ini memperkirakan adanya hubungan antara debit, time of cocentration, terhadap karakteristik daerah aliran dalam suatu bentuk persamaam-persamaan berikut :

$$qp = Cp \frac{275}{tp} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

Qp = debit maximum UH ( m<sup>3</sup> / dt / km<sup>2</sup> )

Tp = long time ( jam )

= Ct ( Lc.L )<sup>n</sup>

L = Panjang sungai ( Km )

Lc= Panjang sungai ketitik berat DAS

N = Koefisien yang bersifat proporsional terhadap Ct = 0.3

Ct dan Cp = koefisien yang tergantung pada karakteristik daerah aliran

Umumnya dipakai harga-harga menurut Snyder :

$$Ct = 1.1-1.4$$

$$Cp = 0.56-0.69$$

Bentuk dari syntetik unit hydrograph ini mengikuti persamaan Alexeyev :

$$Y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana :

$$Y = Q/Qp$$

$$X = t / Tp$$

$$A = 1.32\lambda^2 + 0.15\lambda + 0.045$$

$$\lambda = \frac{Qp \cdot Tp}{W} = \frac{Qp \cdot Tp}{h_{eff} \cdot A}$$

Prosedur perhitungan:

1. Menentukan satuan curah hujan efektif ( $h_{eff}$ ) dan  $t_r$  = time duration

$h_{eff}$  tergantung dari satuan hujan :

$$1 \text{ mm} \longrightarrow h_{eff} = 1/1000$$

$$1 \text{ inchi} \longrightarrow h_{eff} = 25.4/1000$$

$t_r$  = 1 jam atau 1 menit

2. Menentukan nilai  $C_t$ ,  $C_p$ ,  $n$  untuk kemudian menghitung :

$$T_p = C_t (L_c \cdot L)^n$$

$$Q_p = 275 \cdot (C_p / t_p)$$

3. Menghitung  $T_p$  ( Time rise to peak ) =  $0.5 t_r + t_p$

$T_e$  ( lamanya hujan efektif ) =  $t_p / 5.5$

$5.5 \longrightarrow$  seharusnya  $t_e = t_r$

Bila  $t_e > t_r$  dilakukan koreksi terhadap  $t_p$

$$T_p' = t_p + 0.25 (t_r - t_e)$$

Sehingga :  $T_p = 0.5 t_r + t_p'$

4. Menghitung  $Q_p$  (debit maximum sintetik unit Hydrograph )

$$Q_p = q_p \cdot A \cdot h_{\text{eff}}$$

Dimana :

$$q_p = (m^3/dt/km^2)$$

$$A = (km^2)$$

$$h_{\text{eff}} = (m)$$

$$Q_p = (m^3/dt)$$

5. Menentukan grafik hubungan data antara  $Q$  dan  $t$  berdasarkan persamaan Alexeyev, dengan mentransfer nilai  $x$  menjadi  $t = x$ ,  $T_p$  dan nilai  $Y$  menjadi  $Q = Y$ .  $Q_p$

*Sumber : mengenal dasar-dasar hidrologi, Ir joyce Martha, Ir Wannya Adidarma Dipl. H.*

## **2.8. Penentuan Elevasi Rencana**

### **2.8.1. Perhitungan Flood Routing**

Flood routing atau penelusuran banjir adalah merupakan peramalan hydrograph disuatu titik pada suatu aliran

atau bagian sungai yang didasarkan atas pengamatan hydrograph di titik lain, hydrograph banjir dapat ditelusuri lewat palung sungai atau lewat waduk

Penelusuran lewat waduk dimana penampungnya adalah merupakan fungsi langsung dari aliran keluar ( outflow ), maka cara penyelesaiannya dapat ditempuh dengan cara yang lebih eksak

Data yang diperlukan pada penelusuran banjir lewat waduk adalah:

- Hubungan volume tampungan dengan elevasi waduk
- Hubungan debit keluar ( outflow ) dengan elevasi muka air di waduk serta hubungan debit keluar dengan tampungan
- Hydrograf inflow
- Nilai awal tampungan, inflow , dan debit  $Q$  pada  $t = 0$

Nilai awal tampungan diambil pada kondisi muka air normal atau muka air setinggi mercu spillway.

## **2.9. Kreteria Desain**

Suatu bangunan pelimpah atau spillway merupakan suatu bangunan yang harus mampu melimpahkan kelebihan air dari debit banjir yang akan dibuang, sehingga kapasitas bendungan dapat dipertahankan sampai pada batas maximum.

Kelebihan air akibat debit banjir yang tidak terbuang akan mengakibatkan melimpahnya air banjir melalui mercu bendungan. Hal inilah yang sangat tidak diharapkan terutama pada bendungan tipe urugan.

Tipe bendungan pelimpah yang paling umum dipergunakan pada bendungan urugan yaitu bendungan pelimpah terbuka dengan ambang tetap, bagian dari bangunan pelimpah pada perencanaan ini terdiri dari pelimpah samping, saluran samping, saluran transisi, saluran peluncur dan peredam energy.

### **2.9.1. Pelimpah samping ( side channel spillway)**

Suatu bangunan pelimpah yang saluran peluncurnya berposisi

menyamping terhadap saluran pengatur aliran diudiknya disebut bangunan pelimpah samping. Aliran yang melintasi bangunan pelimpah samping tersebut seolah olah terbagi menjadi dua tingkatan dengan dua buah peredam energi yaitu yang pertama bagian akhir saluran pengatur disebut saluran samping ( side Channel ) dan yang kedua adalah peredam energi bagian akhir dari bangunan pelimpah tersebut.

Dimensi spillway dapat diperoleh dengan rumus hidrolika sbb :

(  *bendungan type Urugan*  )

**a. Rumus Debit**

$$Q = C.L.H^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

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

C = Koefisien Limpahan

L = Lebar efektif mercu bendung ( m )

Hd= total tinggi tekanan kecepatan aliran pada saluran pengarah aliran

**b. Koefisien Limpahan ( C )**

Koefisien limpahan dapat diperoleh dengan rumus IWASAKI sbb :

$$Cd = 2.200 - 0.0416(Hd / w)^{0.9900}$$

.....(2.25)

$$C = 1.6x \frac{1 + 2a(H / hd)}{1 + a(H / Hd)}$$

.....(2.26)

Dimana :

- C = Koefisien Limpahan
- Cd = Koefisien limpahan pada saat H = Hd
- H = Hd
- H = Tinggi air diatas mercu bendung
- Hd = Tinggi tekanan rencana diatas mercu bendung
- W = Tinggi bendung
- a = Konstanta ( Diperoleh pada saat H = Hd yang berarti C = Cd dan dengan rumus 3 maka harga dapat dengan mudah diperoleh )



**c. Panjang Efektif Bendung ( L )**

Pada saat terjadinya pelimpahan air melintasi mercu, suatu bendungan terjadi kontraksi aliran baik pada kedua dinding samping bendung maupun disekitar pilar-pilar yang dibangun diatas mercu bendung tersebut, sehingga secara hidrolis lebar efektif suatu bendung akan lebih kecil dari seluruh panjang bendung yang sebenarnya, sedang debit air yang melintasi mercu bendung yang bersangkutan selalu didasarkan pada lebar efektifnya, yaitu dari hasil pengurangan lebar sesungguhnya dengan jumlah seluruh kontraksi yang timbul pada aliran yang melintasi mercu tersebut.

Lebar efektif mercu bendung diperoleh dengan rumus dari Civil Engineering Departement U.S Army

$$L = L' - 2 ( N. Kp + Ka ) H.....$$

.....(2.27)

Dimana:

L = Lebar efektif bendung

L' = Lebar bendung yang  
sebenarnya

N = Jumlah pilar diatas  
mercu bendung

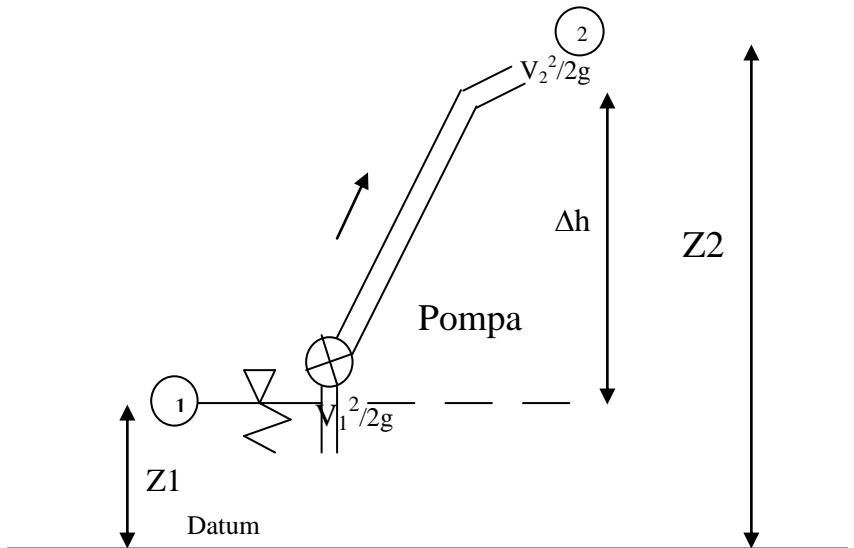
Kp = Koefisien kontraksi pada  
pilar

Ka = Koefisien kontraksi pada  
dinding samping

H = Tinggi tekanan total  
didasar mercu bendung

### **2.9.2. Pompa Air**

Pompa air merupakan alat untuk menambah tenaga dari air, tambahan tenaga yang dimaksud dinyatakan dalam tinggi tenaga atau tenaga per satuan berat air :



Gambar 2.1 Gambar Sketsa Kerja Pompa

Selanjutnya untuk perhitungan digunakan hokum ketetapan energi :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + hp = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h$$

.....(2.28)

Dimana :

Z = jarak titik (datum), satuan meter (m).

$P$  = tekanan udara di permukaan air, satuan atmosfer (atm).

$h_p$  = tambahan tenaga per satuan berat air yang diberikan oleh pompa.

$\Delta h$  = tenaga yang hilang (per satuan berat).

$V^2/2g$  = tinggi energi

Dengan persamaan tersebut dapat ditentukan besarnya daya pompa yang diperlukan untuk memompa air.

Perumusan daya pompa :

$$D_o = Q \cdot \gamma \cdot H_p \text{ (ton} \cdot \text{m/dt)} \dots \dots \dots (2.29)$$

Dimana :

$D_o$  = Daya yang diperlukan pompa  
(ton.m/dt)

$D_i$  = Daya yang harus disediakan pompa  
(ton.m/dt)

$Q$  = Debit pompa ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$\eta$  = Efisiensi pompa

$\gamma$  = Rapat massa air ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )

$h_p$  = tambahan tenaga per satuan berat air yang diberikan oleh pompa.

Satuan daya :

- ❖ ton meter per detk (t.m/det)
- ❖ 1 kw = 1/g (t.m/det)
- ❖ 1 hp = 75 kg.m/det.

Dalam penentuan daya pompa, harus memperhitungkan bahwa daya motor pompa yang tersedia tidak dipergunakan seluruhnya, karena adanya tenaga yang hilang (efisiensi)

$$\eta = \frac{D_o}{D_i} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$D_i = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{\eta} \text{ (ton . m/dt) } \dots\dots\dots (2.31)$$

$$D_i = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{9,8\eta} \text{ (kw) } \dots\dots\dots (2.32)$$

Dimana :

- $\eta$  = efisiensi motor, berkisar antara 0,8 – 0,9
- $D_o$  = daya yang dapat dimanfaatkan (output), satuan Hp
- $D_i$  = daya yang tersedia (input), satuan Hp