

## BAB II

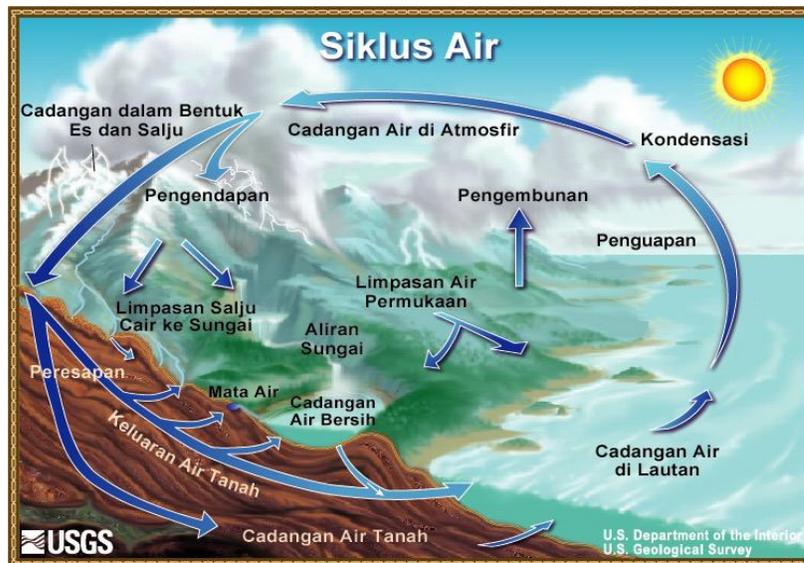
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Analisis Hidrologi

##### 2.1.1 Sirkulasi Air (Siklus Hidrologi)

Di bumi terdapat kira-kira sejumlah 1,3-1,4 milyar km<sup>3</sup> air : 97,5% adalah air laut, 1,75% berbentuk es dan 0,73% berada di daratan sebagai air sungai, air danau dan air tanah dan sebagainya. Air di bumi ini mengulangi terus menerus sirkulasi Penguapan, presipitasi, dan pengaliran keluar (*outflow*). Tetapi sirkulasi air ini tidak merata, karena kita melihat perbedaan besar presipitasi dari tahun ke tahun, dari musim ke musim yang berikutan dan juga dari wilayah ke wilayah yang lain. Sirkulasi air ini dipengaruhi oleh kondisi meteorologi (suhu, tekanan atmosfer, angin dan lain lain). Air permukaan tanah dan air tanah yang dibutuhkan untuk kehidupan dan produksi adalah air yang terdapat dalam proses sirkulasi ini. Jadi jika sirkulasi ini tidak merata, maka akan terjadi bermacam-macam kesulitan.

Jika terjadi sirkulasi yang lebih, seperti banjir maka harus diadakan pengendalian banjir. Jika terjadi sirkulasi yang kurang, maka kekurangan air ini harus ditambah dalam suatu usaha pemanfaatan air.



Gambar 2.1 Siklus Air

Berdasarkan hal-hal tersebut maka berkembanglah ilmu Hidrologi. Hidrologi didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari sistem kejadian air di atas, pada permukaan dan di dalam tanah. Definisi tersebut terbatas pada hidrologi rekayasa. Secara luas hidrologi meliputi pula berbagai bentuk air termasuk transformasi antara keadaan cair, padat, dan gas dalam atmosfer, di atas dan di bawah permukaan tanah. Di dalamnya tercakup pula air laut yang merupakan sumber dan penyimpan air yang mengaktifkan kehidupan di planet bumi ini. Curah hujan pada suatu daerah merupakan faktor yang menentukan besarnya debit banjir yang terjadi pada daerah yang menerimanya.

Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan karakteristik hidrologi dan meteorologi daerah aliran sungai. Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik hujan, debit air yang ekstrim maupun yang wajar yang akan digunakan sebagai dasar analisis selanjutnya dalam pelaksanaan detail desain

### **2.1.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)**

Suatu DAS adalah daerah yang dianggap sebagai wilayah dari suatu titik tertentu pada suatu sungai dan dipisahkan dari DAS-DAS di sebelahnya oleh suatu pembagi (*divide*), atau punggung bukit/gunung yang dapat ditelusuri pada peta topografi. Semua air permukaan yang berasal dari daerah yang dikelilingi oleh pembagi tersebut dialirkan melalui titik terendah pembagi, yaitu tepat yang dilalui oleh sungai utama pada DAS yang bersangkutan (*Djoko, 1985*)

DAS adalah suatu daerah yang dibatasi oleh pemisah topografi yang menerima hujan, menampung, menyimpan dan mengalirkan ke sungai dan seterusnya ke danau atau ke laut. Komponen masukan dalam DAS adalah curah hujan, sedangkan keluarannya terdiri dari debit air dan muatan sedimen (*Suripin, 2004*). Konsep Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan dasar dari semua perencanaan hidrologi tersusun dari DAS-DAS kecil, dan DAS kecil ini juga tersusun dari DAS-DAS yang lebih kecil lagi sehingga dapat didefinisikan sebagai suatu wilayah yang dibatasi oleh batas alam seperti punggung bukit bukit atau gunung, maupun batas

buatan seperti jalan atau tanggul dimana air hujan yang turun di wilayah tersebut memberi kontribusi aliran ke titik kontrol (*outlet*).

### 2.1.3 Curah Hujan Rencana

#### 2.1.3.1 Curah Hujan Areal

Data curah hujan dan debit merupakan data yang paling fundamental dalam perencanaan pembuatan embung. Ketetapan dalam memilih lokasi dan peralatan baik curah hujan maupun debit merupakan faktor yang menentukan kualitas data yang diperoleh. Analisis data hujan dimaksudkan untuk mendapatkan besaran curah hujan dan analisis statistik yang diperhitungkan dalam perhitungan debit banjir rencana. Data curah hujan yang dipakai untuk perhitungan debit banjir adalah hujan yang terjadi pada daerah aliran sungai pada waktu yang sama. Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan area dan dinyatakan dalam mm (*Sosrodarsono, 2003*). Curah hujan area ini harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan. Berikut metode perhitungan curah hujan area dari pengamatan curah hujan di beberapa titik :

#### 1. Cara rata-rata aljabar

Tinggi rata-rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata-rata hitung (*arithmetic mean*) pengukuran di pos penakar-penakar hujan di dalam areal tersebut. Jadi

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

d = tinggi curah hujan rata-rata

$d_1, d_2, \dots, d_n$  = tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2, ..n

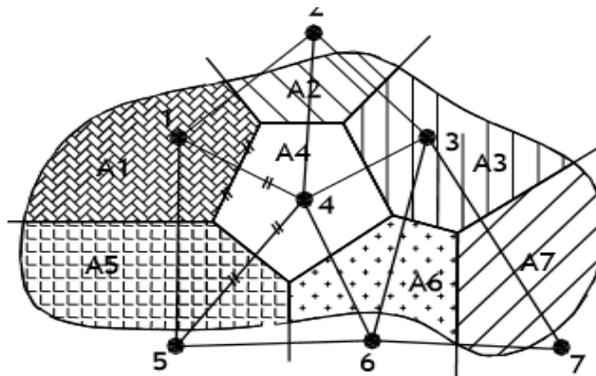
n = banyaknya pos penakar

Hasil yang diperoleh dengan cara ini tidak jauh berbeda dari hasil yang didapat dengan cara lain, jika titik pengamatan itu banyak dan tersebar merata di seluruh

daerah itu. Keuntungan cara ini ialah bahwa cara ini obyektif yang berbeda dengan umpama cara isohyet, di mana faktor subyektif turut menentukan (Ir.Suyono,1983)

## 2. Cara poligon Thiessen

Cara ini berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar.



**Gambar 2.2** Mengukur tinggi curah hujan dengan cara poligon Thiessen

Langkah-langkah metode Thiessen sebagai berikut :

1. Lokasi stasiun hujan di plot pada peta DAS. Antar stasiun dibuat garis lurus penghubung.
2. Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk poligon Thiessen. Semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan stasiun yang ada di dalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap stasiun lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada stasiun tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan.
3. Luas areal pada tiap-tiap poligon dapat diukur dengan planimeter dan luas total DAS (A) dapat diketahui dengan menjumlahkan luas poligon.
4. Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan rumus :

$$\bar{d} = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + A_3 d_3 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

d = Curah hujan rata-rata DAS (mm)

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> , ..., A<sub>n</sub> = Luas daerah pengaruh dari setiap stasiun hujan (km<sup>2</sup>)

d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub> , ..., d<sub>n</sub> = Curah hujan pada setiap stasiun hujan (mm)

n = Banyaknya stasiun hujan

### 3. Cara isohyet

Metode perhitungan dengan memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap stasiun hujan dengan kata lain asumsi metode Thiessen yang menganggap bahwa tiap-tiap stasiun hujan mencatat kedalaman yang sama untuk daerah sekitarnya dapat dikoreksi. Metode ini cocok untuk daerah berbukit dan tidak teratur (*Suripin, 2004*).

Prosedur penerapan metode ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

1. Plot data kedalaman air hujan untuk tiap stasiun hujan pada peta.
2. Gambar kontur kedalaman air hujan dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai kedalaman air hujan yang sama. Interval Isohyet yang umum dipakai adalah 10 mm.
3. Hitung luas area antara dua garis Isohyet yang berdekatan dengan menggunakan planimeter. Kalikan masing-masing luas areal dengan rata-rata hujan antara dua Isohyet yang berdekatan.
4. Hitung hujan rata-rata DAS dengan rumus :

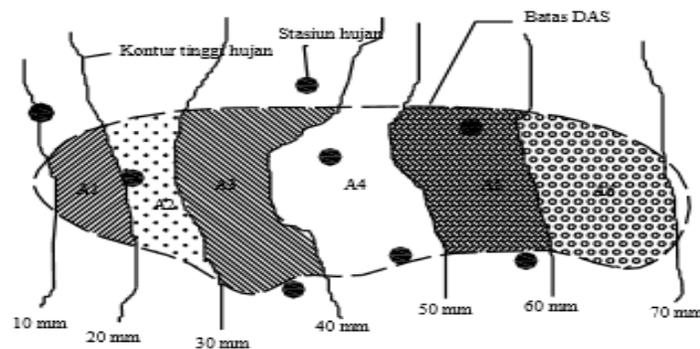
$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1+R_2}{2} A_1 + \frac{R_3+R_4}{2} A_2 + \dots + \frac{R_n+R_{n-1}}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$\bar{R}$  = Curah hujan rata-rata (mm)

R<sub>1</sub> , R<sub>2</sub> ... .. R<sub>n</sub> = Curah hujan di garis isohyet (mm)

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, .... A<sub>n</sub> = Luas bagian yang dibatasi oleh isohyet- isohyet (km<sup>2</sup>)



**Gambar 2.3** Mengukur tinggi curah hujan dengan cara Isohyet

Jika stasiun hujannya relatif lebih padat dan memungkinkan untuk membuat garis Isohyet maka metode ini akan menghasilkan hasil yang lebih teliti. Peta Isohyet harus mencantumkan sungai-sungai utamanya, garis-garis kontur dan mempertimbangkan topografi, arah angin, dan lain-lain di daerah bersangkutan. Jadi untuk membuat peta Isohyet yang baik, diperlukan pengetahuan, keahlian dan pengalaman yang cukup (*Sosrodarsono, 2003*).

#### 2.1.4 Curah Hujan Maksimum Harian Rata-Rata

Metode/cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan hujan maksimum harian rata-rata DAS adalah sebagai berikut :

- Tentukan hujan maksimum harian pada tahun tertentu di salah satu pos hujan.
- Cari besarnya curah hujan pada tanggal-bulan-tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
- Hitung hujan DAS dengan salah satu cara yang dipilih.
- Tentukan hujan maksimum harian (seperti langkah 1) pada tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
- Ulangi langkah 2 dan 3 setiap tahun.

Dari hasil rata-rata yang diperoleh (sesuai dengan jumlah pos hujan) dipilih yang tertinggi setiap tahun. Data hujan yang terpilih setiap tahun merupakan hujan maksimum harian DAS untuk tahun yang bersangkutan (*Suripin, 2004*).

### 2.1.5 Perhitungan Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana digunakan untuk meramalkan besarnya hujan dengan periode ulang tertentu (*Soewarno, 1995*). Berdasarkan curah hujan rencana dapat dicari besarnya intensitas hujan (analisis frekuensi) yang digunakan untuk mencari debit banjir rencana. Analisis frekuensi ini dilakukan dengan menggunakan sebaran kemungkinan teori probability distribution dan yang biasa digunakan adalah sebaran Gumbel tipe I, sebaran Log Pearson tipe III, sebaran Normal dan sebaran Log Normal. Secara sistematis metode Kontur tinggi hujan analisis frekuensi perhitungan hujan rencana ini dilakukan secara berurutan sebagai berikut :

- a. Parameter statistik
- b. Pemilihan jenis sebaran
- c. Uji kecocokan sebaran
- d. Perhitungan hujan rencana

#### a. Parameter Statistik

Parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi meliputi parameter nilai rata-rata ( $\bar{X}$ ), standar deviasi ( $S_d$ ), koefisien variasi (Cv), koefisien kemiringan (Cs) dan koefisien kurtosis (Ck). Perhitungan parameter tersebut didasarkan pada data catatan tinggi hujan harian rata-rata maksimum 20 tahun terakhir.

Nilai rata-rata

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$\bar{X}$  = nilai rata-rata curah hujan

$X_i$  = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i

N = jumlah data curah hujan

- Standar deviasi

Ukuran sebaran yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar. Apabila penyebaran sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai Sd akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka nilai Sd akan kecil. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

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

Dimana :

$S_d$  = standar deviasi curah hujan

$\bar{X}$  = nilai rata-rata curah hujan i

$X_i$  = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i

n = jumlah data curah hujan

- Koefisien variasi

Koefisien variasi (*coefficient of variation*) adalah nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata dari suatu sebaran. Koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$Cv = \frac{S_d}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

Cv = koefisien variasi curah hujan

$S_d$  = standar deviasi curah hujan

$\bar{X}$  = nilai rata-rata curah hujan

- Koefisien kemencengan

Koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan (*assymetry*) dari suatu bentuk distribusi. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

Untuk populasi :  $C_s = \frac{\alpha}{\sigma^3} \dots\dots\dots (2.7)$

$$\text{Untuk sampel : } C_s = \frac{\alpha}{S_d^3} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu) \dots \dots \dots (2.9)$$

$$\alpha = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

$C_s$  = koefisien kemencengan curah hujan

$\sigma$  = standar deviasi dari populasi curah hujan

$S_d$  = standar dari deviasi dari sampel curah hujan

$\mu$  = nilai rata-rata dari data populasi curah hujan

$\bar{X}$  = nilai rata-rata dari data sampel curah hujan

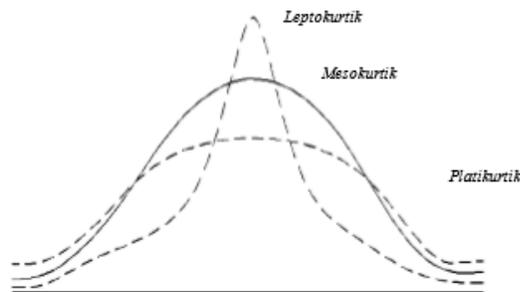
$X_i$  = curah hujan ke i

n = jumlah data curah hujan

$\alpha$  = parameter kemencengan

- Koefisien kurtosis

Koefisien kurtosis adalah suatu nilai yang menunjukkan keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal yang mempunyai  $C_k = 3$  yang dinamakan mesokurtik,  $C_k < 3$  berpuncak tajam yang dinamakan leptokurtik, sedangkan  $C_k > 3$  berpuncak datar dinamakan platikurtik.



**Gambar 2.4** Koefisien Kurtosis

Koefisien Kurtosis biasanya digunakan untuk menentukan keruncingan kurva distribusi, dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_k = \frac{MA(4)}{S_d^4} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

$C_k$  = koefisien kurtosis

$MA(4)$  = momen ke-4 terhadap nilai rata-rata

$S_d^4$  = standar deviasi

Untuk data yang belum dikelompokkan, maka :

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S_d^4} \dots\dots\dots(2.12)$$

dan untuk data yang sudah dikelompokkan

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 f_i}{S_d^4} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

$Ck$  = koefisien kurtosis curah hujan

$n$  = jumlah data curah hujan  $i$

$X_i$  = curah hujan ke  $i$

$\bar{X}$  = nilai rata-rata dari data sampel

$f_i$  = nilai frekuensi variat ke  $i$

$S_d$  = standar deviasi

## **b. Pemilihan Jenis Sebaran**

Masing-masing sebaran memiliki sifat-sifat khas sehingga harus diuji kesesuaiannya dengan sifat statistik masing-masing sebaran tersebut. Pemilihan sebaran yang tidak benar dapat mengundang kesalahan perkiraan yang cukup besar. Pengambilan sebaran secara sembarang tanpa pengujian data hidrologi sangat tidak dianjurkan. Penentuan jenis sebaran yang akan digunakan untuk analisis frekuensi dapat dipakai beberapa cara sebagai berikut.

Tabel pedoman pemilihan sebaran

- Sebaran Gumbel Tipe I
- Sebaran Log Pearson tipe III
- Sebaran Normal
- Sebaran Log Normal

**Tabel 2.1.** Pedoman Pemilihan Sebaran

Jenis Sebaran	Syarat
Normal	$C_s \approx 0$
	$C_k \approx 3$
Gumbel Tipe I	$C_s \leq 1,1396$
	$C_k \leq 5,4002$
Log Pearson Tipe III	$C_s \neq 0$ $C_k \approx 1,5C_s^2 + 3$
Log normal	$C_s \approx 3C_V + C_V^3$
	$C_V \approx 0$

(Sumber : Sutiono. dkk)

- Sebaran Gumbel Tipe I

Digunakan untuk analisis data maksimum, misal untuk analisis frekuensi banjir. Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode sebaran Gumbel Tipe I digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut :

(CD.Soemarto, 1999)

$$X_T = \bar{X} + \frac{S}{S_n} (Y_T - Y_n) \dots \dots \dots (2.14)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Hubungan antara periode ulang T dengan YT dapat dihitung dengan rumus : untuk T ≥ 20, maka : Y = ln T

$$Y = -\ln \left[ -\ln \frac{T-1}{T} \right] \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

- $X_T$  = nilai hujan rencana dengan data ukur T tahun.
- $\bar{X}$  = nilai rata-rata hujan
- S = standar deviasi (simpangan baku)

$Y_T$  = nilai reduksi variat ( reduced variate ) dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang T tahun. Tabel 2.4.

$Y_n$  = nilai rata-rata dari reduksi variat (reduce mean) nilainya tergantung dari jumlah data (n). Tabel 2.2.

$S_n$  = deviasi standar dari reduksi variat (reduced standart deviation) nilainya tergantung dari jumlah data (n). Tabel 2.3.

**Tabel 2.2** Reduced mean ( $Y_n$ ) untuk Metode Sebaran Gumbel Tipe 1

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5300	0,5820	0,5882	0,5343	0,5353
30	0,5363	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5400	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5463	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5468	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									

( Sumber: CD. Soemarto, 1999)

**Tabel 2.3** Reduced Standard Deviation ( $S_n$ ) untuk Metode Sebaran Gumbel Tipe 1

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0315	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1923	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2046	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

( Sumber: CD. Soemarto, 1999)

**Tabel 2.4** Reduced Variate (YT) untuk Metode Sebaran Gumbel Tipe 1

Periode Ulang (Tahun)	Reduced Variate
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001
200	5,2960
500	6,2140
1000	6,9190
5000	8,5390
10000	9,9210

(Sumber : CD.Soemarto,1999)

- Sebaran Log-Pearson Tipe III

Digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Bentuk sebaran Log-Pearson tipe III merupakan hasil transformasi dari sebaran Pearson tipe III dengan menggantikan variat menjadi nilai logaritmik. Metode Log-Pearson tipe III apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut (CD.Soemarto, 1999) :

$$Y = \bar{Y} + K \cdot S \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

Y = nilai logaritmik dari X atau log (X)

X = data curah hujan

$\bar{Y}$  = rata-rata hitung (lebih baik rata-rata geometrik) nilai Y

S = deviasi standar nilai Y

K = karakteristik distribusi peluang Log-Pearson tipe III

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Mengubah data curah hujan sebanyak n buah  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  menjadi  $\log(X_1), \log(X_2), \log(X_3), \dots, \log(X_n)$ .
2. Menghitung harga rata-ratanya dengan rumus :

$$\overline{\log(x)} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i)}{n} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

$\overline{\log(x)}$  = harga rata-rata logaritmik

n = jumlah data

$X_i$  = nilai curah hujan tiap-tiap tahun ( $R_{24}$  maks)

3. Menghitung harga standar deviasinya dengan rumus berikut :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i) - \overline{\log(X)}}{n-1}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :

Sd = standar deviasi

4. Menghitung koefisien skewness ( $C_s$ ) dengan rumus :

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log(X)}\}^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

$C_s$  = koefisien skewness

5. Menghitung logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun dengan rumus :

$$\log(X_T) = \overline{\log(X)} + K \cdot Sd \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

$X_T$  = curah hujan rencana periode ulang T tahun

K = harga yang diperoleh berdasarkan nilai  $C_s$

6. Menghitung koefisien kurtosis ( $C_k$ ) dengan rumus :

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log(X)}\}^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

$C_k$  = koefisien kurtosis

7. Menghitung koefisien variasi (Cv) dengan rumus :

$$Cv = \frac{Sd}{\log(X)} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana :

Cv = koefisien variasi

Sd = standar deviasi

**Tabel 2.5** Harga K untuk Metode Sebaran Log Pearson III

Koefisien Kemencengan (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	2,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	2,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	2,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	2,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	2,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	2,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	2,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	2,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	2,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	2,761	2,000	2,252	2,482	3,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,488	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800

(Lanjutan Tabel 2.5)

Koefisien Kemencengan (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,200	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	0,035	1,069	1,089	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	1,995	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

(Sumber : CD. Soemarto, 1999)

### 2.1.6 Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau.

Rumus yang dapat dipakai :

#### a. Menurut Dr. Mononobe

Jika data curah hujan yang ada hanya curah hujan harian. Rumus yang digunakan (sosrodarsono, 2003) :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left[ \frac{24}{t} \right]^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (jam)

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

### 2.1.7 Debit Banjir Rencana

Untuk mencari debit banjir rencana dapat digunakan beberapa metode diantaranya hubungan empiris antara curah hujan dengan limpasan. Metode ini paling banyak di

kembangkan sehingga didapat beberapa rumus, diantaranya adalah :

### Rumus Rasional

Metode rasional ini digunakan jika luas DAS kurang dari 2,5 km<sup>2</sup> (<2,5 km<sup>2</sup>). Rumus rasional yang dipakai adalah :

$$Q_r = \frac{C_f \cdot C \cdot I \cdot A}{3,6} = 0,278 \cdot C_f \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2.43)$$

Dimana :

- Q<sub>r</sub> = debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan dengan intensitas dan frekuensi tertentu (m<sup>3</sup>/det)
- I = intensitas curah hujan selama konsentrasi (mm/jam)
- A = luas daerah tangkapan (km<sup>2</sup>)
- C<sub>f</sub> = faktor koreksi frekuensi
- C = koefisien aliran yang tergantung pada jenis permukaan lahan yang nilainya diberikan dalam tabel 3 berikut ini :

#### 2.1.8 Analisis Debit Andalan

Debit andalan merupakan debit minimal yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk memenuhi kebutuhan air. Perhitungan ini menggunakan cara analisis *water balance* dari Dr. F.J Mock berdasarkan data curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran. Prinsip perhitungan ini adalah bahwa hujan yang jatuh diatas tanah (*presipitasi*) sebagian akan hilang karena penguapan (*evaporasi*), sebagian akan hilang menjadi aliran permukaan (*direct run off*) dan sebagian akan masuk tanah (*infiltrasi*). *Infiltrasi* mula-mula menjenuhkan permukaan (*top soil*) yang kemudian menjadi perkolasi dan akhirnya keluar ke sungai sebagai *base flow*. Perhitungan debit andalan meliputi :

##### a. Data Curah Hujan

- R20 = curah hujan bulanan
- N = jumlah hari hujan

##### b. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi terbatas dihitung dari evapotranspirasi potensial Metode Penman,

$$dE/Eto = (m/20) \times (18-n) \dots\dots\dots (2.44)$$

$$dE = (m/20) \times (18-n) \times Eto \dots\dots\dots (2.45)$$

$$Etl = Eto - dE \dots\dots\dots (2.46)$$

Dimana :

- dE = selisih *evapotranspirasi* potensial dan *evapotranspirasi*

terbatas.

Eto = evapotranspirasi potensial.

Etl = evapotranspirasi terbatas.

M = prosentase lahan yang tidak ditutupi vegetasi.

= 10 - 40 % untuk lahan yang tererosi.

= 30 – 50 % untuk lahan pertanian yang diolah.

## 2.2 Embung

### 2.2.1 Tipe Embung

Tipe embung dapat dikelompokkan menjadi 4 keadaan yaitu :

#### 1. Tipe Embung Berdasarkan Tujuan Pembangunannya

Ada 2 tipe yaitu embung dengan tujuan tunggal dan embung serba guna (dalam Sudibyo, 1993)

1. Embung dengan tujuan tunggal (*single purpose dams*) adalah embung yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja, misalnya untuk pembangkit tenaga listrik atau irigasi (pengairan) atau pengendalian banjir atau perikanan darat atau tujuan lainnya tetapi hanya untuk satu tujuan saja.
2. Embung serba guna (*multipurpose dams*) adalah embung yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan misalnya pembangkit tenaga listrik (PLTA) dan irigasi (pengairan), pengendalian banjir dan PLTA, air minum dan air industri, PLTA, pariwisata dan irigasi dan lain-lain.

#### 2. Tipe Embung Berdasarkan Penggunaannya

Menurut Soedibyo (1993) dibedakan menjadi :

1. Embung penampung air (*storage dams*) adalah embung yang digunakan untuk menyimpan air pada masa surplus dan dipergunakan pada masa kekurangan. Termasuk dalam embung penampung air adalah untuk tujuan rekreasi, perikanan, pengendalian banjir dan lainlain.
2. Embung pembelok (*diversion dams*) adalah embung yang digunakan untuk meninggikan muka air, biasanya untuk keperluan mengalirkan air kedalam sistem aliran menuju ke tempat yang memerlukan.

3. Embung penahan (*detention dams*) adalah embung yang digunakan untuk memperlambat dan mengusahakan seminimal mungkin efek aliran banjir yang mendadak. Air ditampung secara berkala/sementara, dialirkan melalui pelepasan (*outlet*). Air ditahan selama mungkin dan dibiarkan meresap di daerah sekitarnya.

### **3. Tipe Embung Berdasarkan Jalannya Air**

Ada 2 tipe yaitu embung untuk dilewati air dan embung untuk menahan air (dalam Sudiby, 1993).

1. Embung untuk dilewati air (*overflow dams*) adalah embung yang dibangun untuk dilimpasi air misalnya pada bangunan pelimpah (*spillway*).
2. Embung untuk menahan air (*non overflow dams*) adalah embung yang sama sekali tidak boleh dilimpasi air. Kedua tipe ini biasanya dibangun berbatasan dan dibuat dari beton, pasangan batu atau pasangan bata.

### **4. Tipe Embung Berdasarkan Material Pembentuknya.**

Ada 2 tipe yaitu embung urugan, embung beton dan embung lainnya (dalam Sudiby, 1993).

1. Embung urugan (*fill dams, embankment dams*) adalah embung yang dibangun dari hasil penggalian bahan (material) tanpa tambahan bahan lain yang bersifat campuran secara kimia, jadi betul-betul bahan pembentuk embung asli. Embung ini masih dapat dibagi menjadi dua yaitu :
  - embung urugan serba sama (*homogeneous dams*) adalah embung apabila bahan yang membentuk tubuh embung tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasinya (susunan ukuran butirannya) hampir seragam.

- embung zonal adalah embung apabila timbunan yang membentuk tubuh embung terdiri dari batuan dengan gradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan-urutan pelapisan tertentu
2. Embung beton (*concrete dam*) adalah embung yang dibuat dari konstruksi beton baik dengan tulangan maupun tidak. Kemiringan permukaan hulu dan hilir tidak sama pada umumnya bagian hilir lebih landai dan bagian hulu mendekati vertikal dan bentuknya lebih ramping. Embung ini masih dibagi lagi menjadi : embung beton berdasar berat sendiri stabilitas tergantung pada massanya, embung beton dengan penyangga (*buttress dam*) permukaan hulu menerus dan di hilirnya pada jarak tertentu ditahan, embung beton berbentuk lengkung dan embung beton kombinasi.

### **2.2.2 Pemilihan Lokasi dan Tipe Embung**

Embung merupakan salah satu bagian dari proyek secara keseluruhan maka letaknya juga dipengaruhi oleh bangunan-bangunan lain seperti bangunan pelimpah, bangunan penyadap bangunan pengeluaran, bangunan untuk pembelokan sungai dan lain-lain (dalam Soedibyo, 1993).

Dalam bukunya Soedibyo (1993) faktor yang menentukan didalam pemilihan tipe embung adalah :

1. Tujuan pembangunan proyek
2. Keadaan klimatologi setempat
3. Keadaan hidrologi setempat
4. Keadaan di daerah genangan
5. Keadaan geologi setempat
6. Tersedianya bahan bangunan
7. Hubungan dengan bangunan pelengkap
8. Keperluan untuk pengoperasian waduk
9. Keadaan lingkungan setempat
10. Biaya proyek

## 2.3 Analisa Saluran

### 2.3.1 Bentuk-Bentuk Saluran

Bentu-bentuk saluran untuk drainase tidak terlampau jauh berbeda dengan saluran air irigasi pada umumnya.

Dalam perencanaan dimensi saluran harus diusahakan dapat memperoleh dimensi saluran tumpang yang ekonomis. Dimensi saluran yang terlalu besar berarti tidak ekonomis, sebaliknya dimensi saluran yang terlalu kecil, tingkat kerugian akan besar.

Bentuk saluran drainase terdiri dari:

1. Bentuk trapezium
2. Bentuk empat persegi panjang
3. Bentuk lingkaran, parabola dan bulat telur
4. Bentuk tersusun

**Tabel 2.6** Koefisien Tipe Daerah Aliran

Tipe Daerah Aliran	Harga C
- Perumputan:	
1. Tanah pasir, datar 2%	0,05-0,10
2. Tanah pasir, rata-rata 2-7%	0,10-0,15
3. Tanah pasir, curam 7%	0,15-0,20
4. Tanah gemuk, datar 2%	0,13-0,17
5. Tanah gemuk, rata-rata 2-7%	0,18-0,22
6. Tanah gemuk, curam 7%	0,25-0,35
- Busines	
1. Daerah kota lama	0,75-0,95
2. Daerah pinggiran	0,50-0,70
- Perumahan	
1. Daerah "single family"	0,30-0,50
2. "Multi units" terpisah-pisah	0,40-0,60
3. "Multi units" tertutup	0,60-0,75
4. "suburan"	0,25-0,40

5. Daerah rumah-rumah apartemen	0,50-0,70
- Industri	
1. Daerah ringan	0,50-0,80
2. Daerah berat	0,60-0,90
- Pertamanan, kuburan	0,10-0,25
- Tempat bermain	0,20-0,35
- Halaman kereta api	0,20-0,40
- Daerah yang tidak dikerjakan	0,10-0,30
- Jalan	
1. Beraspal	0,70-0,95
2. Beton	0,80-0,95
3. Batu	0,70-0,85
- Untuk berjalan dan naik kuda	0,75-0,85
- Atap	0,75-0,95

(sumber : *Drainase Perkotaan, Penerbit Gunadarma, 75*)

#### 1. Bentuk trapezium

Saluran drainase bentuk trapezium pada umumnya saluran dari tanah. Tapi dimungkinkan juga bentuk ini dari pasangan. Saluran ini membutuhkan ruang yang cukup dan berfungsi untuk pengaliran air hujan, air rumah tangga maupun air irigasi.

#### 2. Bentuk empat persegi panjang

Saluran drainase berbentuk empat persegi panjang tidak banyak membutuhkan ruang. Sebagai konsekuensi dari saluran bentuk ini saluran harus dari pasangan ataupun beton.

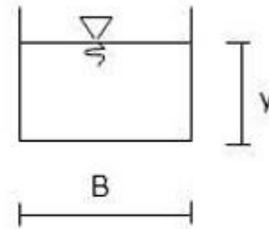
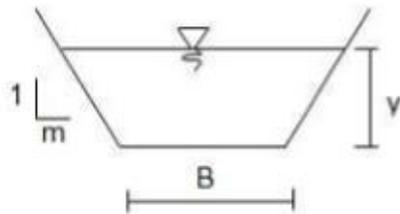
Bentuk saluran demikian berfungsi sebagai saluran air hujan, air rumah tangga, maupun air irigasi.

#### 3. Bentuk lingkaran, parabola, dan bulat telur

Saluran drainase bentuk ini berupa saluran dari pasangan atau kombinasi pasangan dan pipa beton. Dengan bentuk dasar saluran yang bulat memudahkan pengangkutan bahan endapan/limbah.

#### 4. Bentuk tersusun

Saluran bentuk tersusun dapat berupa saluran dari tanah maupun dari pasangan. Tampang saluran yang bawah berfungsi mengalirkan air rumah tangga pada kondisi tidak ada hujan, apabila terjadi hujan maka kelebihan air dapat ditampung pada saluran bagian atas. Tampang saluran ini membutuhkan ruang yang cukup dan dapat digunakan untuk saluran air hujan, saluran air rumah tangga ataupun saluran irigasi.



**Gambar 2.5** Penampang trapezium      **Gambar 2.6** Penampang Segiempat

Untuk penampang melintang berbentuk segiempat maupun segitiga, maka unsur geometrisnya adalah identik. Hanya saja yang berbeda adalah harga  $B$  dan  $m$ . Untuk penampang segiempat harga  $m = 0$ , untuk penampang segitiga harga  $B = 0$ .

Contoh geometris penampang saluran berbentuk segiempat :

Penampang basah  $A$  total : ( $m=0$ )

$$A_{\text{TOTAL}} = B \cdot y + m \cdot y^2 \dots\dots\dots (2.81)$$

$$A_1 = B \cdot y \dots\dots\dots (2.82)$$

Keliling basah  $P$  :

$$P = B + 2y\sqrt{(1 + m)^2} \dots\dots\dots (2.83)$$

$$P = B + 2y\sqrt{(1 + 0)^2} \dots\dots\dots (2.84)$$

$$P = B + 2y \dots\dots\dots(2.85)$$

Jari-jari hidraulik R :

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots(2.86)$$

$$R = \frac{B \cdot y}{\sqrt{B + 2y^2}} \dots\dots\dots(2.87)$$

Lebar puncak T :

$$T = B \dots\dots\dots(2.88)$$

Kedalaman hidraulik D :

$$D = \frac{A}{T} \dots\dots\dots(2.89)$$

$$D = \frac{B \cdot y}{B} = y \dots\dots\dots(2.90)$$

Faktor penampang Z :

$$Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}} = By\sqrt{y} = By^{1.5} \dots\dots\dots(2.91)$$

$$Z = (B \cdot y)\sqrt{B} = B^{3/2} \cdot Y \dots\dots\dots(2.92)$$

Bentuk penampang melintang persegi yang paling ekonomis adalah jika kedalaman air setengah dari lebar dasar saluran, atau jari-jari hidrauliknya setengah dari kedalaman air. (Ir.Suripin,2004)

## 2.4 Pengelolaan Proyek

### 2.4.1 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek.

Anggaran biaya merupakan harga dari bahan bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja. Adapun langkah-langkah untuk menghitung rencana anggaran biaya (RAB), yaitu :

- a. Persiapan dan pengecekan gambar kerja  
Gambar kerja adalah dasar untuk menentukan pekerjaan apa saja yang ada dalam komponen bangunan yang akan dikerjakan. Dari gambar akan didapatkan ukuran, bentuk dan spesifikasi pekerjaan. Pastikan gambar yang mengandung semua ukuran dan spesifikasi material yang akan digunakan untuk mempermudah perhitungan volume pekerjaan. Dalam tahap persiapan ini perlu juga dilakukan pengecekan harga-harga material dan upah yang ada disekitar atau lokasi paling dekat dengan tempat bangunan yang akan dikerjakan.
- b. Perhitungan volume  
Langkah awal untuk menghitung volume pekerjaan, yang perlu dilakukan adalah mengurutkan semua item dan komponen pekerjaan yang akan dilaksanakan sesuai dengan gambar kerja yang ada.
- c. Membuat harga satuan pekerjaan  
Untuk menghitung harga satuan pekerjaan, yang perlu dipersiapkan adalah indeks koefisien analisa pekerjaan, harga material atau bahan sesuai satuan dan harga upah kerja per-hari termasuk mandor, kepala tukang, tukang pekerja.
- d. Perhitungan jumlah biaya pekerjaan  
Setelah didapatkan volume dan harga satuan pekerjaan, kemudian kita tinggal mengalikannya sehingga didapat harga biaya pekerjaan dari masing-masing item pekerjaan.
- e. Rekapitulasi  
Rekapitulasi adalah jumlah masing-masing sub item pekerjaan dan kemudian ditotalkan sehingga didapatkan jumlah total biaya pekerjaan. Dalam rekapitulasi ini bila mana diperlukan juga ditambahkan biaya *overhead* dan biaya pajak.

#### **2.4.2 Network Planning**

*Network Planning*/penjadwalan dalam pengertian proyek konstruksi merupakan perangkat untuk menentukan aktivitas yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek dalam urutan serta kerangka waktu tertentu, dalam mana setiap aktivitas harus dilaksanakan agar proyek selesai tepat waktu dengan biaya yang ekonomis (*Callahan, 1992*). Penjadwalan meliputi tenaga kerja, material, peralatan, keuangan, dan waktu. Dengan penjadwalan yang tepat maka beberapa macam kerugian dapat dihindarkan seperti keterlambatan, pembengkakan biaya, dan perselisihan.

(sumber : *Material Bidang Drainase I, Kementrian PU*)

### 2.4.3 Kurva S

Kurva S dikembangkan oleh Jenderal Warren Hannum, perwira Zeni dari Amerika Serikat, atas pengamatan proyeknya sampai selesainya proyek yang bersangkutan. Kurva S atau Hannum Curve digunakan sebagai :

- a. Pengarahan penilaian atas progress pekerjaan
- b. Pada permulaan menunjukkan progress yang sangat kecil. Maka rencana jga harus realistis sesuai dengan kemampuan dan kondisi persiapan pekerjaan.
- c. Sangat membantu perencanaan proyek. Suatu proyek umumnya dimula dengan rencana program yang cukup kecil lalu meningkat pada beberapa waktu kemudian. Dengan demikian beberapa pekerjaan merupakan “*peak load*” yang harus dilaksanakan secara serentak. Kurva S berguna memberikan indikasi dan koreksi pertama pada jadwal yang kita buat.

Kurva S adalah suatu kurva yang disusun untuk menunjukkan hubungan antara nilai kumulatif biaya atau jam-orang (*man hours*) yang telah digunakan atau persentase (%) penyelesaian pekerjaan terhadap waktu. Dengan demikian pada kurva S dapat digambarkan kemajuan volume pekerjaan yang diselesaikan sepanjang berlangsungnya proyek atau pekerjaan dalam bidang dari proyek. Dengan membandingkan kurva tersebut dengan kurva serupa yang disusun berdasarkan perencanaan, maka akan segera terlihat dengan jelas apabila terjadi penyimpangan. Oleh karena kemampuannya yang dapat diandalkan dalam melihat penyimpangan-penyimpangan dalam pelaksanaan proyek, maka pengendalian proyek dengan memanfaatkan kurva S sering kali digunakan dalam pengendalian suatu proyek.

(sumber: Materi Bidang Drainase I, Kementrian PU)