

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Drainase**

Drainase merupakan salah satu fasilitas dasar yang dirancang sebagai sistem guna memenuhi kebutuhan masyarakat dan merupakan komponen penting dalam perencanaan kawasan (perencanaan infrastruktur khususnya). Secara umum, drainase didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Drainase juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan sanitasi. Jadi, drainase menyangkut tidak hanya air permukaan tapi juga air tanah. Drainase yaitu suatu cara pembuangan kelebihan air yang tidak diinginkan pada suatu daerah, serta cara-cara penanggulangan yang ditimbulkan oleh kelebihan air tersebut. Dari sudut pandang yang lain, drainase adalah salah satu unsur dari prasarana umum yang dibutuhkan masyarakat kawasan dalam rangka menuju kehidupan kawasan yang aman, nyaman, bersih, dan sehat. Prasarana drainase disini berfungsi untuk mengalirkan air permukaan ke badan air (sumber air permukaan dan bawah permukaan tanah) dan atau bangunan resapan. Selain itu juga berfungsi sebagai pengendali kebutuhan air permukaan dengan tindakan untuk memperbaiki daerah terkena genangan air dan banjir (Suripin, 2004:7).

Kegunaan drainase sendiri sebagai (Suripin, 2004) :

- a. Mengeringkan genangan air sehingga tidak ada akumulasi air tanah;
- b. Menurunkan permukaan air tanah pada tingkat yang ideal;
- c. Mengendalikan erosi tanah, kerusakan jalan dan bangunan yang ada di sekitar drainase;

- d. Mengendalikan air hujan yang berlebihan sehingga tidak terjadi bencana banjir;

#### **2.1.1 Maksud dan Tujuan Perencanaan Drainase**

Maksud dan tujuan dari perencanaan drainase sendiri yaitu :

- a. Mengatur dan mengalirkan air limbah dan air yang berlebihan di suatu permukiman / perkotaan agar tidak terjadi genangan;
- b. Menentukan pola dan sistem drainase yang sesuai dengan daerah tersebut;
- c. Melakukan perhitungan untuk menentukan dimensi saluran dan jenis bangunan yang dibutuhkan;

#### **2.1.2 Sistem Drainase**

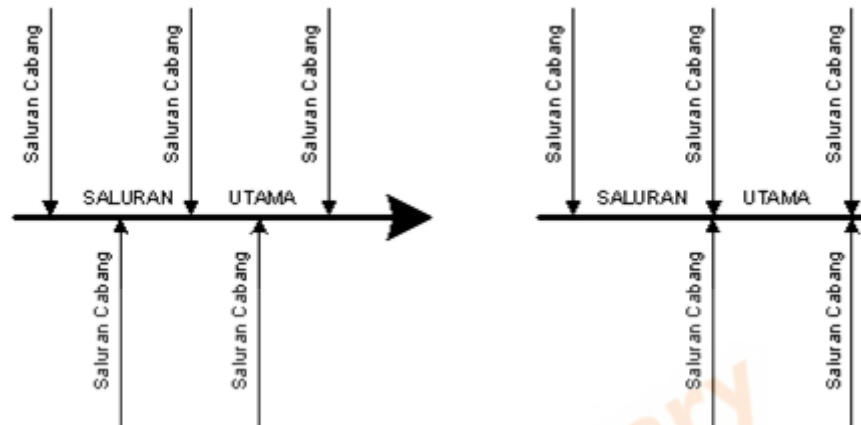
Standar dan sistem penyediaan drainase terdiri dari empat macam, yaitu (Hasmar, 2002) :

- a. Sistem drainase utama merupakan sistem drainase perkotaan yang melayani kepentingan sebagian besar warga masyarakat kota;
- b. Sistem drainase lokal merupakan sistem drainase perkotaan yang melayani kepentingan sebagian kecil warga masyarakat kota;
- c. Sistem drainase terpisah merupakan sistem drainase yang mempunyai jaringan saluran pembuangan terpisah untuk air permukaan atau air limpasan;
- d. Sistem gabungan merupakan sistem drainase yang mempunyai jaringan saluran pembuangan yang sama, baik untuk air genangan atau air limpasan yang telah diolah;

### 2.1.3 Pola Jaringan Drainase

Jaringan drainase memiliki beberapa pola, yaitu (Hasmar, 2012:5) :

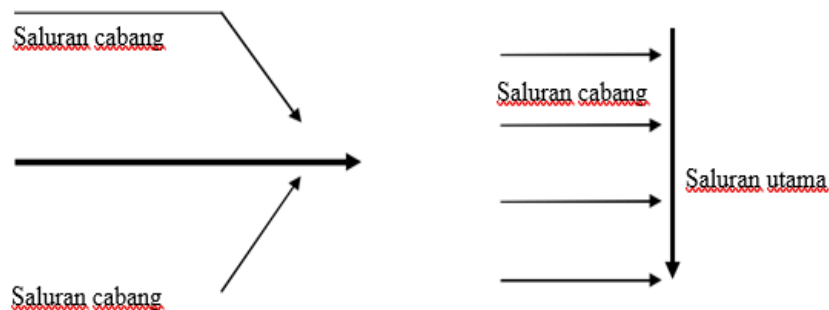
#### a. Siku



Gambar 2. 1 Saluran Pola Siku

#### b. Paralel

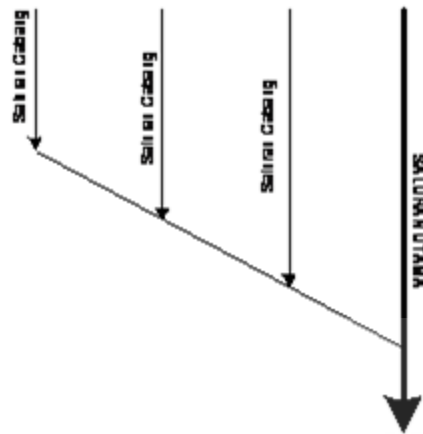
Pola ini dimana saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang (sekunder) yang cukup banyak, apabila terjadi perkembangan kota saluran dapat menyesuaikan.



Gambar 2. 2 Saluran Pola Paralel

### c. Grid Iron

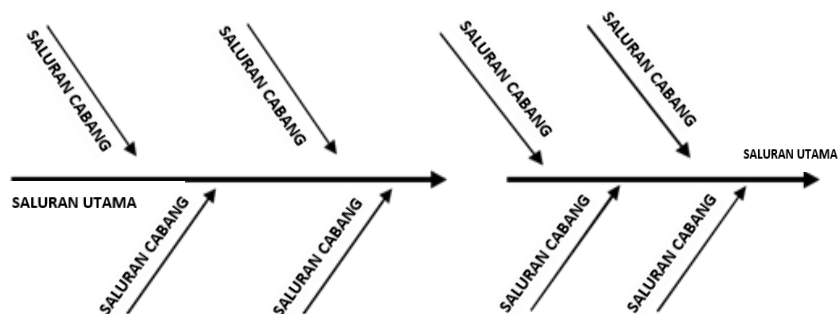
Untuk daerah dimana sungainya terletak di pinggir kota, sehingga saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpulan.



Gambar 2. 3 Saluran Pola Grid Iron

### d. Alamiah

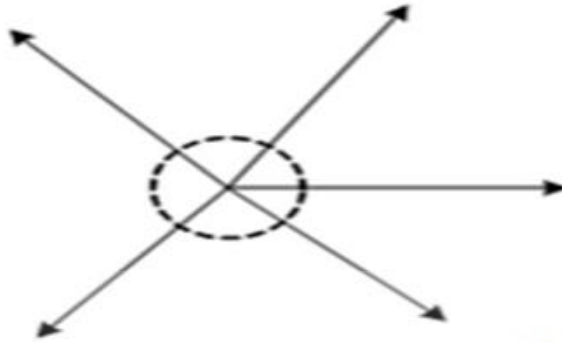
Sama seperti pola siku, hanya beban sungai pada pola alamiah lebih besar, letak saluran utama ada di bagian terendah (lembah) dari suatu daerah (alam) yang secara efektif berfungsi sebagai pengumpul dari anak cabang saluran yang ada (saluran cabang), dimana saluran cabang dan saluran utama merupakan suatu saluran alamiah.



Gambar 2. 4 Saluran Pola Alamiah

**e. Radial**

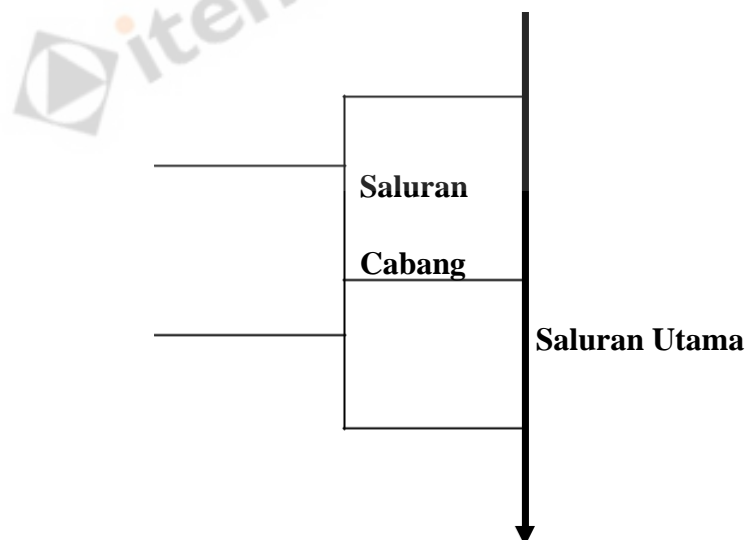
Pada daerah berbukit, sehingga pola saluran memencar ke segala arah. Suatu daerah genangan dikeringkan melalui beberapa saluran cabang dari suatu titik menyebar ke segala arah (sesuai dengan kondisi topografi daerah).



**Gambar 2. 5** Saluran Pola Radial

**f. Jaring – Jaring**

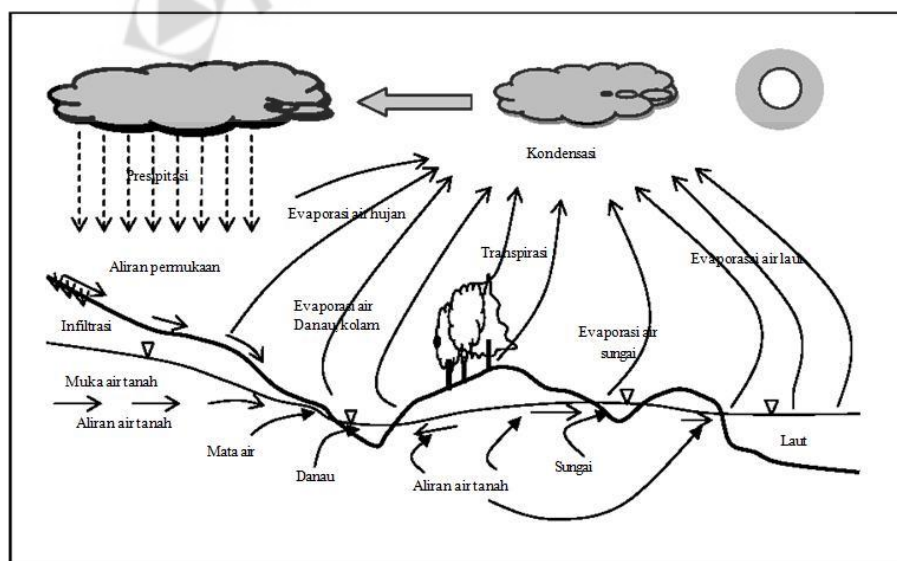
Mempunyai saluran-saluran pembuang yang mengikuti arah jalan raya dan cocok untuk daerah dengan topografi datar.



**Gambar 2. 6** Saluran Pola Jaring – Jaring

## 2.2 Hidrologi

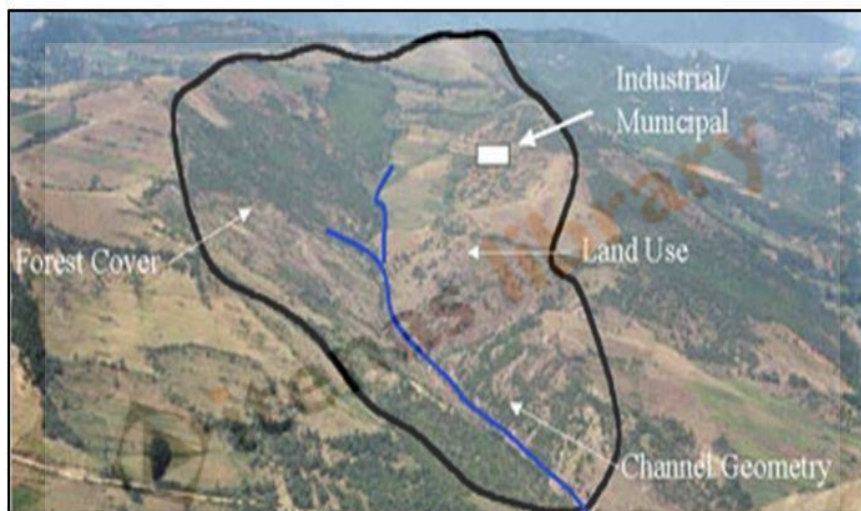
Dalam perencanaan suatu bangunan air yang berfungsi untuk pengendalian penggunaan air antara lain yang mengatur aliran sungai, pembuatan waduk-waduk dan saluran-saluran yang sangat diperlukan untuk mengetahui perilaku siklus yang disebut dengan siklus hidrologi. Siklus hidrologi adalah proses yang diawali oleh evaporasi / penguapan kemudian terjadinya kondensasi dari awan hasil evaporasi. Awan terus terproses, sehingga terjadi salju atau hujan yang jatuh ke permukaan tanah. Pada muka tanah air hujan ada yang mengalir di permukaan tanah, sebagai air *run off* atau aliran permukaan dan sebagian (infiltrasi) meresap kedalam lapisan tanah. Besarnya *run off* dan infiltrasi tergantung pada parameter tanah atau jenis tanah dengan pengujian tanah di laboratorium. Air *run off* mengalir di permukaan muka tanah kemudian ke permukaan air di laut, danau, sungai. Air infiltrasi meresap kedalam lapisan tanah, akan menambah tinggi muka air tanah didalam lapisan tanah, kemudian juga merembes didalam tanah kearah muka air terendah, akhirnya juga kemungkinan sampai dilaut, danau, sungai. Kemudian terjadi lagi proses penguapan. (Hasmar,2012:9)



**Gambar 2. 7** Siklus Hidrologi

### 2.2.1 Daerah Aliran Sungai

Daerah aliran sungai (DAS) biasa juga disebut daerah tangkapan air (DTA). DAS merupakan wilayah yang dibatasi oleh punggung-punggung bukit atau pegunungan yang menampung air hujan dan mengalirkannya melalui saluran air, dan kemudian berkumpul menuju suatu muara sungai, laut, danau atau waduk. DAS perlu diketahui sebelum merencanakan analisis hidrologi baik berupa debit banjir rencana maupun debit andalan karena luas DAS dan karakteristiknya merupakan parameter yang menentukan besaran debitnya.



**Gambar 2.1** Ilustrasi Daerah Aliran Sungai  
(sumber: Balai Pengelolaan DAS Serayu Opak Progo KLHK)

### 2.2.2 Curah Hujan Wilayah

Curah hujan yang diperlukan untuk mengetahui profil muka air sungai dan rancangan suatu drainase adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah atau daerah dan dinyatakan dalam milimeter (mm). Menentukan curah hujan rerata harian maksimum daerah dilakukan berdasarkan pengamatan pada beberapa stasiun pencatat hujan. Perhitungan curah hujan rata-rata maksimum ini dapat menggunakan beberapa metode, diantaranya menggunakan metode rata-rata aljabar, garis Isohiet, dan poligon Thiessen.

**a. Cara rata-rata Aljabar**

Cara ini menggunakan perhitungan rata-rata secara aljabar, tinggi curah hujan diambil dari harga rata-rata dari stasiun pengamatan di dalam daerah yang ditinjau.

$$R = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (2.1)$$

Dimana :

$R$  = Curah hujan rata rata rendah

$N$  = Jumlah titik atau pos pengamatan

$R_1 + R_2 + \dots + R_n$  = Curah hujan ditiap titik pengamatan

**b. Cara garis isohiet**

Peta isohiet digambarkan pada peta topografi dengan perbedaan (*interval*) 10 mm sampai 20 mm berdasarkan data curah hujan pada titik-titik pengamatan didalam dan di sekitar daerah yang dimaksud. Luas daerah antara dua garis isohiet yang berdekatan diukur dengan planimeter. Demikian pula harga rata-rata dari garis-garis isohiet yang berdekatan yang termasuk bagian-bagian daerah itu dapat dihitung.

Curah hujan daerah itu dapat dihitung menurut persamaan sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + A_3 R_3 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$\bar{R}$  = Curah hujan daerah

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  = Luas daerah yang mewakili titik pengamatan

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  = Curah hujan setiap titik pengamatan



c. Metode Poligon Thiessen

Cara ini berdasar rata – rata timbang (weighted average). Metode ini sering digunakan pada analisis hidrologi karena lebih teliti dan obyektif disbanding metode lainnya, dan dapat digunakan pada daerah yang memiliki titik pengamatan tidak merata. Cara ini adalah dengan memasukkan factor pengaruh daerah yang mewakili oleh stasiun hujan yang disebut factor pembobotan atau Koefisien Thiessen. Untuk pemilihan stasiun hujan yang dipilih harus meliputi daerah aliran sungai yang akan dibangun. Besarnya Koefisien Thiessen tergantung dari luas daerah pengaruh stasiun hujan yang dibatasi oleh poligon – poligon yang memotong tegak lurus pada tengah – tengah garis penghubung stasiun. Setelah luas pengaruh tiap – tiap stasiun didapat maka Koefisien Thiessen dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

Rumus yang digunakan :

$$R = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + A_3 R_3 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

Keterangan :

A = Luas daerah / Areal

R = Tinggi curah hujan di pos 1, 2, 3, ..., n

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  = Tinggi curah hujan pada pos penakar 1,2,3,, n

### 2.2.3 Curah Hujan Rencana

Analisis frekuensi atau distribusi frekuensi digunakan untuk memperoleh probabilitas besaran curah hujan rencana dalam berbagai periode ulang. Dasar perhitungan distribusi frekuensi adalah parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata-rata, simpangan baku, koefisien variasi, dan koefisien *skewness* (kecondongan atau kemiringan).

Berdasarkan ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi. Berikut ini empat jenis distribusi frekuensi yang paling banyak digunakan dalam bidang hidrologi:

**a. Distribusi Normal**

Distribusi normal atau kurva normal disebut juga distribusi Gauss. Perhitungan curah hujan rencana menurut metode distribusi normal, mempunyai persamaan sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K_T S \quad (2.4)$$

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{S} \quad (2.5)$$

Keterangan :

$X_T$  = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T tahunan

$\bar{X}$  = Nilai hitung rata – rata

S = Standar Deviasi

$K_T$  = Faktor Frekuensi

Untuk mempermudah perhitungan, nilai faktor frekuensi ( $K_T$ ) umumnya sudah tersedia dalam tabel, disebut sebagai tabel nilai variabel reduksi Gauss (*Variable reduced Gauss*), seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.1

**Tabel 2.1** Nilai Variabel Reduksi Gauss

No.	Periode ulang	T (tahun)	Peluang $K_T$
1	1,001	0,999	-3,05
2	1,005	0,995	-2,58
3	1,01	0,99	-2,33
4	1,05	0,95	-1,64
5	1,11	0,9	-1,28
6	1,25	0,8	-0,84

7	1,33	0,75	-0,67
8	1,43	0,7	-0,52
9	1,67	0,6	-0,25
10	2	0,5	0
11	2,5	0,4	0,25
12	3,33	0,3	0,52
13	4	0,25	0,67
14	5	0,2	0,84
15	10	0,1	1,28
16	20	0,05	1,64
17	50	0,02	2,05
18	100	0,01	2,33
19	200	0,005	2,58
20	500	0,002	2,88
21	1000	0,001	3,09

(sumber:suripin, 2004)

**b. Distribusi Log Normal**

Dalam distribusi log normal data X diubah kedalam bentuk logaritmik  $Y = \log X$ . Jika variabel acak  $Y = \log X$  terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti Distribusi Log Normal. Untuk distribusi Log Normal perhitungan curah hujan rencana menggunakan persamaan berikut ini :

$$Y_T = Y + K_T S \quad (2.6)$$

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{S} \quad (2.7)$$

Keterangan :

$Y_T$  = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode  
ulang T tahun

$Y$  = Nilai rata rata hitung

$S$  = Standar Deviasi

$K_T$  = Faktor frekuensi

### c. Distribusi Log Pearson III

Distribusi *Log Pearson* Tipe III banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Bentuk distribusi *Log Pearson* Tipe III merupakan hasil dari transformasi dari distribusi *Pearson* tipe III dengan mengganti varian menjadi nilai logaritma. Data hujan harian maksimum tahunan sebanyak  $n$  tahun diubah dalam bentuk logaritma. Langkah-langkah dalam perhitungan curah hujan rencana berdasarkan perhitungan *Log Pearson* Type III sebagai berikut (Soemarto, 1999).

1. Hitung rata – rata logaritma dengan rumus :

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Log } X_i \quad (2.8)$$

2. Hitung simpangan baku dengan rumus :

$$Sd = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2} \quad (2.9)$$

3. Hitung koefisien kemencengan curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu :

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + K.Sd \quad (2.10)$$

Keterangan :

Log  $\bar{X}$  = Rata – rata logaritma data

$n$  = banyaknya tahun pengamatan

Sd = Standar deviasi

G = Koefisien kemencengan

K = Variabel standar untuk  $X$  yang besarnya tergantung koefisien kemiringan

#### d. Distribusi Gumbel

Faktor frekuensi untuk distribusi ini dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan sebagai berikut :

1. Besarnya curah hujan rata – rata dengan rumus :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \quad (2.11)$$

2. Hitung standar deviasi dengan rumus :

$$Sd = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.12)$$

3. Hitung besarnya curah hujan untuk periode ulang t tahun dengan rumus:

$$X_T = \bar{X} + \frac{Y_T - Y_n}{\sigma n} Sd \quad (2.13)$$

Keterangan:

$X_T$  = Besarnya curah hujan untuk t tahun (mm)

$Y_T$  = Besarnya curah hujan rata – rata untuk t tahun (mm)

$Y_n$  = *Reduce Mean* deviasi berdasarkan sampel n

$\sigma n$  = *Reduce Standard* deviasi berdasarkan sampel n

n = jumlah tahun yang ditinjau

$\bar{X}$  = Curah hujan rata – rata (mm)

$X_i$  = Curah hujan maksimum (mm)

#### e. Metode Pearson III

Setelah menghitung nilai rata-rata, standar deviasi, koefisien kemencengan (*skewness*), dan koefisien kurtosis, Selanjutnya menghitung curah hujan dengan beberapa periode ulang dengan persamaan:

$$X_T = \bar{X} + K_T \times S \quad (2.14)$$

$$X_T = 10^{X_T} \quad (2.15)$$

di mana:

$X_T$  = logaritma curah hujan dengan periode ulang T tahun

$K_T$  = faktor frekuensi Pearson III untuk periode ulang T tahun

Setelah dilakukan perhitungan distribusi, selanjutnya ditentukan jenis sebaran yang tepat (mendekati) untuk menghitung curah hujan rencana dengan syarat-syarat batas tertentu. Berikut adalah tabel syarat-syarat batas penentuan jenis sebaran.

**Tabel 2.2** Pedoman Pemilihan Distribusi

Jenis Distribusi	Syarat
Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
Log Normal	$C_s \approx 3C_v + C_v^2 = 3$ $C_k \approx 5,383$
Pearson III	-
Log Pearson III	$C_s$ antara 0 – 0,9
Gumbel	$C_s \leq 1.1396$ $C_k \leq 5.4002$

(Sumber : Ir. CD. Soemarto, BIE, Dipl. H, Hidrologi Teknik)

#### 2.2.4 Uji Keselarasan

Uji keselarasan digunakan untuk menguji persebaran data yang tersedia. Dengan melakukan uji tersebut dapat diketahui apakah data analisis frekuensi memenuhi syarat untuk data perencanaan atau tidak. Metode yang digunakan untuk uji keselarasan adalah uji keselarasan Chi-Square dan uji keselarasan Smirnov-Kolmogorov.

##### 1. *Chi-Square*

Yang dilakukan pertama kali adalah dengan melakukan pembagian data ke dalam kelompok/kelas. Perhitungan jumlah kelompok/kelas (k) adalah sebagai berikut.

$$k = 1 + 3,322 \log n \quad (2.16)$$

di mana:

$k$  = jumlah kelompok/kelas

$n$  = jumlah data

Lalu menentukan derajat kepercayaan ( $\alpha$ ) dan menghitung derajat kebebasan ( $Dk$ ) dengan persamaan sebagai berikut.

$$Dk = k - (R + 1) \quad (2.17)$$

Setelah diperoleh nilai  $\alpha$  dan  $Dk$  maka nilai Chi-Square kritis bisa didapatkan dengan mengacu pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Nilai *Chi-Square* Kritis

<b>Dk</b>	<b>Derajat Kepercayaan (<math>\alpha</math>)</b>							
	<b>0.995</b>	<b>0.99</b>	<b>0.975</b>	<b>0.95</b>	<b>0.05</b>	<b>0.025</b>	<b>0.01</b>	<b>0.005</b>
1	0.000039	0.000157	<b>0.000982</b>	0.00393	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.01	0.0201	0.0506	0.103	5.991	7.378	9.21	10.597
3	0.0717	0.115	0.216	0.352	7.815	9.248	11.345	12.838
4	0.201	0.297	0.484	0.711	9.488	11.143	13.277	14.86
5	0.412	0.54	0.831	1.145	11.01	12.832	15.086	16.75
6	0.676	0.872	1.237	1.635	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.69	2.167	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.18	2.733	15.507	17.535	20.09	21.955
9	1.735	2.088	2.7	3.325	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.94	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	19.675	21.92	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.217	28.3
13	3.565	4.107	5.009	5.892	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.66	5.629	6.571	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	24.996	27.488	30.758	32.801
16	5.124	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	32	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.36	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.26	9.591	10.851	31.41	34.17	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	32.671	35.479	38.932	40.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.26	10.196	11.689	13.091	36.172	38.076	41.683	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.949	36.415	39.364	42.98	45.558
25	10.52	11.524	13.12	14.611	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.16	12.198	13.844	15.379	38.885	41.923	45.642	48.29
27	11.808	12.879	14.573	16.151	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	42.557	45.722	49.588	52.336

(Sumber: Triatmodjo, 2008)

Nilai Chi-Square kritis ini menjadi batas untuk nilai Chi-Square perhitungan. Apabila nilai Chi-Square perhitungan melebihi nilai Chi-Square kritis maka distribusi tidak diterima. Nilai Chi-Square perhitungan didapat menggunakan persamaan:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.18)$$

di mana:

$X^2$  = nilai Chi-Square perhitungan

$O_i$  = jumlah nilai pengamatan pada kelompok/kelas ke-i

$E_i$  = jumlah nilai teoritis pada kelompok/kelas ke-i

## 2. Smirnov-Kolmogorov

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan horizontal yaitu selisih/simpangan maksimum antara distribusi teoritis dan empiris ( $D_{\max}$ ). Kriteria pengujian ini terpenuhi apabila  $D_{\max} < D_{cr}$ . Uji ini menghitung besarnya jarak tiap titik data pengamatan terhadap kurva teoritisnya yang bisa didapat dengan persamaan:

$$D_{\max} = \text{maksimum} |P(x) - P'(x)| \quad (2.19)$$

di mana:

$D_{\max}$  = selisih maksimum antara probabilitas empiris dan teoritis

$P(x)$  = probabilitas empiris

$P'(x)$  = probabilitas teoritis

**Tabel 2.4** Nilai  $D_{\text{Kritis}}$

n	Nilai kritis Smirnov-Kolmogorov ( $\alpha$ )			
	0.2	0.1	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	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	0.20	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	$1.07/n^{0.5}$	$1.22/n^{0.5}$	$1.36/n^{0.5}$	$1.63/n^{0.5}$

(Sumber: Triatmodjo, 2008)

Lalu menentukan derajat kepercayaan ( $\alpha$ ) untuk selanjutnya menentukan  $D_{kritis}$  yang bergantung pada jumlah data dan derajat kepercayaan seperti pada Tabel 3.x. Nilai  $D_{kritis}$  ini menjadi batas untuk nilai  $D_{max}$ . Apabila nilai  $D_{max}$  melebihi nilai  $D_{kritis}$  maka distribusi tidak diterima.

### 2.2.5 Hujan Efektif

Hujan efektif adalah nilai hujan yang telah dikurangi oleh *abstraction* (kehilangan). Hujan efektif ini adalah curah hujan total yang menghasilkan limpasan langsung (*direct run-off*). Limpasan langsung ini terdiri dari limpasan permukaan (*surface run-off*) dan aliran antara atau *interflow* (air yang masuk ke dalam lapisan tipis dibawah permukaan tanah dengan permeabilitas rendah, yang keluar lagi di tempat yang rendah dan berubah menjadi limpasan permukaan). Ada beberapa metode yang umum digunakan, di antaranya perhitungan infiltrasi Horton, metode pengaliran hujan total dengan koefisien pengaliran (C), dan SCS *method for abstraction*.

Metode SCS berusaha mengkaitkan karakteristik DAS seperti tanah, vegetasi, dan tata guna lahan dengan bilangan kurva air larian CN (*runoff curve number*) yang menunjukkan potensi air larian untuk curah hujan tertentu. Metode CN didasarkan atas hubungan infiltrasi pada setiap jenis tanah dengan jumlah curah hujan yang jatuh pada setiap kali hujan. Total curah yang jatuh pada setiap hujan (P) di atas tanah dengan potensi maksimal tanah untuk menahan (*retention*) air (S) tertentu, akan terbagi menjadi tiga komponen; Air larian (Q), Infiltrasi (F) dan Abstraksi awal (Initial Abstraction: Ia), dengan hubungan (Ven Te Chow, 1988:148)

### 2.2.6 Intensitas Curah Hujan

Ketinggian curah hujan yang terjadi secara kontinyu pada satu kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi atau biasa disebut dengan intensitas hujan.

#### a. Formula Talbot

Persamaan formula Talbot adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{a}{t + b} \quad (2.20)$$

Keterangan:

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

Nilai a dan b adalah konstanta yang tergantung pada lamanya curah hujan jam yang terjadi di daerah aliran dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$a = \frac{[I \cdot t][I^2] - [I^2 \cdot t][I]}{N[I^2] - [I][I]} \quad (2.21)$$

$$b = \frac{[I][I \cdot t] - N[I^2 \cdot t]}{N[I^2] - [I][I]} \quad (2.22)$$

Keterangan:

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

N = banyaknya data

#### b. Formula Sherman

Persamaan formula Sherman adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (2.23)$$

Keterangan:

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

Nilai a dan n dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\log a = \frac{[\log I][(\log t)^2] - [\log t \cdot \log I][\log t]}{N[(\log t)^2] - [\log t][\log t]} \quad (2.24)$$

$$n = \frac{[\log I][\log t] - N[\log t \cdot \log I]}{N[(\log t)^2] - [\log t][\log t]} \quad (2.25)$$

Keterangan:

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

N = banyaknya data

**c. Formula Ishiguro**

Persamaan formula Ishiguro adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b} \quad (2.26)$$

Nilai a dan b dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$a = \frac{[I \cdot \sqrt{t}][I^2] - [I^2 \cdot \sqrt{t}][I]}{N[I^2] - [I][I]} \quad (2.27)$$

$$b = \frac{[I][I \cdot t] - N[I^2 \cdot t]}{N[I^2] - [I][I]} \quad (2.28)$$

Keterangan:

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

N = banyaknya data

**d. Metode Van Breen**

Persamaan intensitas hujan Van Breen adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{54R_T + 0.707R_T^2}{T_c + 0.31R_T} \quad (2.29)$$

Keterangan:

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

R<sub>T</sub> = curah hujan untuk periode ulang T (mm)

e. Metode Mononobe

Persamaan Intensitas Hujan Mononobe adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (2.30)$$

Keterangan:

$I$  = intensitas curah hujan (mm/jam)

$t$  = lamanya hujan (jam)

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

### 2.2.7 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari titik yang paling jauh pada daerah aliran ke titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir suatu saluran. Waktu konsentrasi dibagi atas 2 bagian :

1. *Inlet Time* ( $t_o$ ) = yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di atas permukaan tanah menuju saluran drainase.
2. *Conduit Time* ( $t_d$ ) = yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di sepanjang saluran sampai titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir.

Berikut metode-metode perhitungan waktu konsentrasi:

a. Metode Morgali dan Linsley

Metode Morgali dan Linsley digunakan untuk daerah perkotaan kecil dengan luas wilayah drainase sekitar 10-20 acre. Berikut persamaan metode Morgali dan Linsley:

$$t_c = \frac{0.94(nL)^{0.6}}{i^{0.4}S^{0.3}} \quad (2.31)$$

Keterangan:

$t_c$  = waktu konsentrasi (menit)

$I$  = intensitas hujan rencana (mm/jam)

$n$  = koefisien kekasaran manning

L = panjang aliran (ft)

S = kemiringan

**b. Metode Kirpich**

Metode Kirpich digunakan untuk daerah pengaliran kecil yang didominasi oleh aliran di saluran. Luas daerah pengaliran untuk pendekatan Kirpich terbatas sekitar 200 acre. Berikut persamaan metode Kirpich:

$$t_c = 0.0078 \left( L^3 / h \right)^{0.385} \quad (2.32)$$

Keterangan:

$t_c$  = waktu konsentrasi (menit)

L = panjang saluran utama (ft)

h = beda tinggi sepanjang saluran utama (ft)

Metode Kirpich juga dapat digunakan untuk DAS pertanian dengan luas kecil dari 50 hektar dengan persamaan berikut:

$$t_c = 0.0664 \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77} \quad (2.33)$$

Keterangan:

$t_c$  = waktu konsentrasi (menit)

L = panjang saluran utama (ft)

S = kemiringan

**c. Metode Kerby**

Metode Kerby digunakan untuk daerah pengaliran yang kecil dimana didominasi aliran permukaan. Berikut persamaan metode Kerby:

$$t_c = \left[ \frac{0.67NL}{\sqrt{S}} \right]^{0.467} \quad (2.34)$$

Keterangan:

$t_c$  = waktu konsentrasi (menit)

N = parameter kekasaran Kerby

S = kemiringan saluran

**Tabel 2.5** Parameter Kekasaran *Kerby*

Description	N
Permukaan Tahan Air dan Licin	0,02
Tanah Padat Terbuka dan Licin	0,10
Permukaan Sedikit berumput, tanah Dengan Tanaman Berjajar, Tanah Terbuka Kekasaran Sedang	0,20
Padang Rumput	0,40
Lahan dengan Pohon-Pohon Musim Gugur	0,60
Lahan dengan Pohon-Pohon Berdaun, Hutan Lebat Lahan Berumput Tebal	0,80

(Sumber: Bahan Ajar Kuliah SA-3202 Sistem dan Rekayasa Drainase ITB)

Terdapat alternatif persamaan dari metode Kerby dengan panjang saluran utama kecil dari 0.4 km yaitu sebagai berikut:

$$t_c = 3.03 \left( \frac{rL^{1.5}}{H} \right)^{0.467} \quad (2.35)$$

Keterangan:

$t_c$  = waktu konsentrasi (menit)

$L$  = panjang saluran utama (km)

$H$  = beda tinggi sepanjang saluran utama (km)

$r$  = parameter kekasaran Kerby

**d. Metode Hathaway**

Berikut persamaan metode Hathaway:

$$t_c = \frac{0.606(Ln)^{0.467}}{S^{0.234}} \quad (2.36)$$

Keterangan:

$t_c$  = waktu konsentrasi (menit)

$L$  = panjang saluran utama (m)

$n$  = parameter kekasaran Kerby

$S$  = kemiringan saluran

e. Metode SNI T-02-2006-B: Drainase Jalan

Waktu konsentrasi berdasarkan SNI T-02-2006-B: Drainase Jalan adalah waktu konsentrasi untuk saluran terbuka, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$t_c = t_l + t_s \quad (2.37)$$

$$t_l = \left( \frac{2}{3} \times 3.28 \times l_o \times \frac{n_d}{\sqrt{i_s}} \right)^{0.467} \quad (2.38)$$

Keterangan:

- $t_c$  = waktu konsentrasi (menit)
- $t_l$  = waktu konsentrasi lahan (menit)
- $t_s$  = waktu konsentrasi saluran (menit)
- $l_o$  = jarak titik terjauh ke fasilitas drainase (m)
- $L$  = panjang saluran utama (m)
- $n_d$  = koefisien hambatan
- $i_s$  = kemiringan saluran memanjang

**Tabel 2.6** Koefisien Hambatan Drainase Jalan

Kondisi Lapis Permukaan	nd
Lapisan Semen dan Aspal Beton	0,013
Permukaan Licin dan Kedap Air	0,020
Permukaan Licin dan Kotor	0,010
Tanah dengan Rumput Tipis dan Gundul dengan Permukaan Sedikit Kasar	0,20
Padang Rumput dan Rerumputan	0,4
Hutan Gundul	0,6
Hutan Rimbun dan Hutan Gundul Rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,8

(sumber: Petunjuk Desain Drainase Permukaan Jalan No. 008/T/BNKT/1990, BINA MARGA)

### 2.2.8 Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah volume air hujan per satuan waktu yang tidak mengalami infiltrasi sehingga harus dialirkan melalui saluran drainase. Debit air limpasan terdiri dari tiga komponen yaitu koefisien *run off* (C), data intensitas curah hujan (I), dan *catchment area* (Aca).

Koefisien yang digunakan untuk menunjukkan berapa banyak bagian dari air hujan yang harus dialirkan melalui saluran drainase karena tidak mengalami penyerapan ke dalam tanah (infiltrasi). Koefisien ini berkisar antara 0-1 yang disesuaikan dengan kepadatan penduduk di daerah tersebut. Semakin padat penduduknya maka koefisien *run-offnya* akan semakin besar sehingga debit air yang harus dialirkan oleh saluran drainase tersebut akan semakin besar pula.

Rumus debit air hujan / limpasan:

$$Q = 0,278.C.I.A \quad (2.39)$$

Dimana :

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

C = Koefisien *run off* (berdasarkan standar baku)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah pengaliran (km<sup>2</sup>)

0,278 = Konstanta

Dalam perencanaan saluran drainase dapat dipakai standar yang telah ditetapkan, baik debit rencana (periode ulang) dan cara analisis yang dipakai, tinggi jagaan, struktur saluran, dan lain-lain. Tabel 2.7 berikut merupakan kala ulang yang dipakai berdasarkan luas daerah pengaliran saluran dan jenis kota yang akan direncanakan sistem drainasenya. Tabel 2.8 merupakan koefisien aliran permukaan yang juga nantinya akan digunakan pada saat merencanakan sistem drainase.

**Tabel 2.7** Kala Ulang Berdasarkan Tipologi Kota

Tipologi Kota	Daerah Tangkapan Air (ha)			
	< 10	10 - 100	101 - 500	> 500
Kota Metropolitan	2 Th	2 - 5 Th	5 - 10 Th	10 - 25 Th
Kota Besar	2 Th	2 - 5 Th	2 - 5 Th	5 - 20 Th
Kota Sedang	2 Th	2 - 5 Th	2 - 5 Th	5 - 10 Th
Kotak Kecil	2 Th	2 Th	2 Th	2 - 5 Th

(Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum RI Nomor 12/PRT/M/2014)



**Tabel 2.8** Nilai Koefisien Aliran Permukaan (C)

No	Jenis Daerah	Koefisien C
1	Daerah Perdagangan	
	Perkotaan	0,70 - 0,90
	Pinggiran	0,50 - 0,70
2	Permukiman	
	Perumahan Satu Keluarga	0,30 - 0,50
	Perumahan Berkelompok, terpisah - pisah	0,40 - 0,60
	Perumahan Berkelompok, Bersambungan	0,60 - 0,75
	Suburban	0,25 - 0,40
	Daerah Apartemen	0,50 - 0,70
3	Industri	
	Daerah Industri Ringan	0,50 - 0,80
	Daerah Industri Berat	0,60 - 0,90
4	Taman, Pekuburan	0,10 - 0,25
5	Tempat Bermain	0,20 - 0,35
6	Daerah Stasiun Kereta Api	0,20 - 0,40
7	Daerah Belum Diperbaiki	0,10 - 0,30
8	Jalan	0,70 - 0,95
9	Bata	
	Jalan, Hamparan	0,75 - 0,85
	Atap	0,75 - 0,95

(sumber: Koefisien Aliran Permukaan (C) Untuk Daerah Urban (Schwab et al, dalam Arsyad, 2006))

## 2.3 Hidraulika

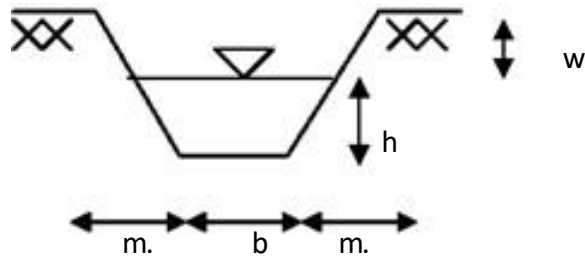
Banyaknya debit air hujan yang ada dalam suatu kawasan harus segera di alirkan agar tidak menimbulkan genangan air. Untuk dapat mengalirkannya diperlukan saluran yang dapat menampung dan mengalirkan air tersebut ke tempat penampungan. Sehingga penentuan kapasitas tampung harus berdasarkan atas besarnya debit air hujan.

### 2.3.1 Bentuk Penampang Saluran

Dimensi saluran perlu direncanakan untuk mendapatkan penampang yang ideal dan efisien dalam penggunaan lahan. Penggunaan lahan yang efisien berarti dengan memperhatikan ketersediaan lahan yang ada. Hal ini perlu diperhatikan karena pada daerah pemukiman padat lahan yang dapat dipergunakan sangat terbatas. Penampang saluran yang ideal sangat dipengaruhi oleh faktor bentuk penampang. Dengan Q banjir rencana yang ada, kapasitas penampang akan tetap walaupun bentuk penampang diubah-ubah, sehingga perlu diperhatikan bentuk penampang saluran yang stabil.

Bentuk penampang saluran berdasarkan kapasitas saluran yaitu :

a. Penampang tunggal trapesium



**Gambar 2.2** Bentuk Penampang Trapesium

$$Q = A \times V \quad (2.40)$$

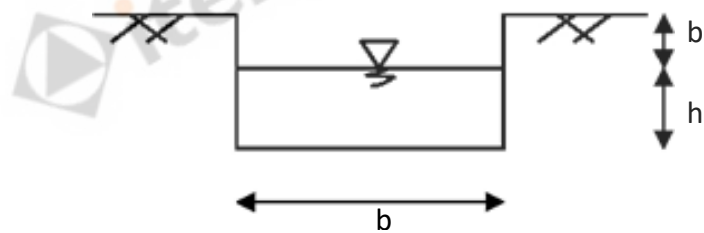
$$R = \left( \frac{A}{P} \right) \quad (2.41)$$

$$V = \left( \frac{1}{n} \right) \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \text{ m/dtk} \quad (2.42)$$

$$A = H \times (B + m \times H) \quad (2.43)$$

$$P = b + 2 \times h \times \sqrt{1 + m^2} \quad (2.44)$$

b. Penampang tunggal segi empat



**Gambar 2.3** Bentuk Penampang Persegi

$$Q = A \times V \quad (2.45)$$

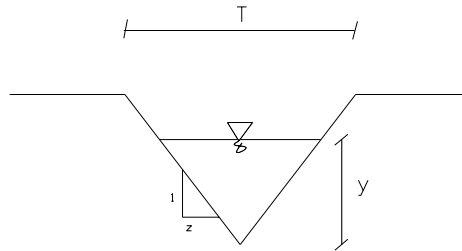
$$R = \left( \frac{A}{P} \right) \quad (2.46)$$

$$V = \left( \frac{1}{n} \right) \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \text{ m/dtk} \quad (2.47)$$

$$A = (b \times h) \quad (2.48)$$

$$P = 2 \times H + B \quad (2.49)$$

c. Penampang tunggal segi empat



**Gambar 2.4** Bentuk Penampang Segitiga

$$\text{Luas (A)} = zy^2 \quad (2.50)$$

$$\text{Keliling Basah (P)} = 2y \times \sqrt{1+z^2} \quad (2.51)$$

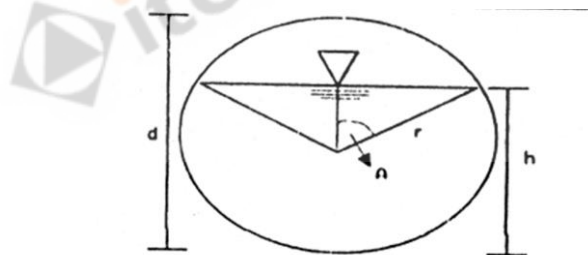
$$\text{Jari – Jari Hidrolik} = \frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}} \quad (2.52)$$

$$\text{Lebar Puncak (T)} = 2zy \quad (2.53)$$

$$\text{Kedalaman Hidrolik} = \frac{1}{2} y \quad (2.54)$$

$$\text{Faktor Penampang} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times zy^{1,5} \quad (2.55)$$

d. Penampang Lingkaran



**Gambar 2.5** Bentuk Penampang Lingkaran

$$\text{Luas (A)} = \frac{1}{8} \times (\theta - \sin \theta) \times D^2 \quad (2.56)$$

$$\text{Keliling Basah (P)} = \frac{1}{2} \times \theta \times D \quad (2.57)$$

$$\text{Jari – Jari Hidrolik} = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) \times D \quad (2.58)$$

$$\text{Lebar Puncak (T)} = 2 \sqrt{y(D-y)} \quad (2.59)$$

$$\text{Kedalaman Hidrolik (D)} = \frac{1}{8} \times \left( \frac{\theta \times \sin \theta}{\sin^{\frac{1}{2}} \theta} \right) \times D \quad (2.60)$$

$$\text{Faktor Penampang (Z)} = \frac{\sqrt{2(\theta - \sin \theta)^{1,5}}}{32 \times (\sin \frac{1}{2} \theta)^{1,5}} \times D^{2,5} \quad (2.61)$$

Sedangkan metode yang digunakan untuk menentukan dimensi saluran, sebagai berikut:

**1. Metode Manning**

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.62)$$

Keterangan:

N = koefisien kekasaran manning

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

R = keliling basah penampang

S = kemiringan saluran

**Tabel 2.9** Nilai Koefisien Manning

No	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
<b>Saluran Buatan</b>					
1	Saluran Buatan, lurus teratur	0,17	0,02	0,023	0,025
2	Saluran tanah yang dibuat Excavator	0,023	0,028	0,03	0,04
3	Saluran pada dinding batuan lurus, teratur	0,02	0,03	0,033	0,035
4	Saluran pada dinding batuan tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,04	0,045	0,045
5	Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,03	0,035	0,04
6	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,03	0,033	0,035
7	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,02	0,025	0,028	0,03
<b>Saluran Alam</b>					
8	Bersih, lurus, tidak berpasir dan tidak berlubang	0,025	0,028	0,03	0,033
9	Seperti no 8 tapi ada timbunan atau kerikil	0,03	0,033	0,035	0,04
10	melengkung, bersih, berlubang dan berdinding pasir	0,03	0,035	0,04	0,045
11	Seperti no 10, dangkal, tidak teratur	0,04	0,045	0,5	0,055

No	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
12	Seperti no 10, berbau dan ada tumbuh-tumbuhan	0,035	0,04	0,045	0,05
13	Seperti no 11, sebagian berbatu	0,045	0,05	0,055	0,06
14	Aliran Pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang	0,05	0,06	0,07	0,08
15	Banyaj tumbuh-tumbuhan	0,075	0,1	0,125	0,15
<b>Saluran buatan ,beton atau batu kali</b>					
16	Saluran pasangan batu,tanpa Penyelesaian	0,025	0,03	0,033	0,035
17	seperti no 16, tapi dengan penyelesaian	0,017	0,02	0,025	0,03
18	saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19	saluran beton halus dan rata	0,01	0,011	0,012	0,013
20	saluran beton pracetak dengan acuan baja	0,013	0,14	0,014	0,015
21	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

(Sumber : Pedoman perencanaan sistem drainase jalan)

## 2. Metode Chezy

$$V = C\sqrt{RI} \quad (2.63)$$

Keterangan:

V = debit (m<sup>3</sup>/s)

C = koefisien Chezy

R = keliling basah penampang

I = kemiringan dasar saluran

**Tabel 2.10** Nilai Koefisien Chezy

Description of channel	Chezy Coeficient	OM Scenario
many grove heights of flood waters	7 - 12,5	10%
many weeds as high as water	12,5 -20	30%
Base of channel is clean with a little to moderate grove on the cliff wall channel	20 - 30	50%
Channel with a bit of short grassy weeds	30 - 45	80%
Channel is clean and not a new channel, it has been decaying	40 -55	100%

(Sumber: Bahan Ajar Kuliah SA-3202 Sistem dan Rekayasa Drainase)

### 3. Metode Stickler

$$V = kR^{2/3}I^{1/2} \quad (2.64)$$

Keterangan:

V = debit (m<sup>3</sup>/s)

k = koefisien Stickler

R = keliling basah penampang

I = kemiringan dasar saluran

**Tabel 2.11** Nilai Koefisien *Stickler*

Debit Rencana m <sup>3</sup> /s	k
Q > 10	45
5 < Q < 10	42,5
1 < Q < 5	40
Q > 1	35

## 2.4 Gambar Rencana

Ketentuan yang diperlukan dalam pembuatan gambar rencana adalah sebagai berikut:

- Peta sistem drainase, jaringan jalan.
- Gambar potongan memanjang saluran.
- Gambar potongan melintang saluran.
- Gambar Detail Saluran.

## 2.5 Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya atau biasa disebut RAB memiliki beberapa komponen di dalamnya. Berikut di bawah ini item rincian yang harus ada di dalam RAB:

- Uraian pekerjaan.

Jika pekerjaan konstruksi biasanya terdapat sub jenis pekerjaan misalnya pekerjaan persiapan, galian, urugan dan pekerjaan pondasi beton.

**b. Volume pekerjaan (Unit).**

Jika di dalam pengadaan barang biasanya digunakan satuan unit. Sedangkan untuk pekerjaan konstruksi kebanyakan dihitung dalam satuan meter persegi ( $m^2$ ), meter kubik ( $m^3$ ), atau unit.

**c. Harga satuan.**

Jika pengadaan barang cukup mengalikan harga satuan dengan unit barang sehingga ditemukan biaya belanja modal. Sedangkan untuk pekerjaan konstruksi dipisah menjadi dua bagian, yaitu harga jasa atau harga jasa berikut materialnya. Kemudian, kalikan volume pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan.

**d. Total upah pekerja.**

Upah pekerja ini umumnya hanya untuk pekerjaan jasa konstruksi saja, yaitu didapatkan dari biaya per jam x estimasi waktu pekerjaan x total pekerja.

**e. Total material bahan bangunan.**

**f. Grand Total**

yaitu jumlah harga yang didapatkan dari penjumlahan total upah dengan total material atau perkalian volume dengan total upah.