

## 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Drainase

Drainase yang berasal dari bahasa Inggris *drainage* mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang atau mengalihkan air. Dalam bidang teknik sipil, drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan/lahan, sehingga fungsi kawasan/lahan tidak terganggu (Suripin, 2004).

Sistem drainase dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi atau membuang kelebihan air pada suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Dirunut dari hulunya, bangunan sistem drainase terdiri dari saluran penerima (*interceptor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*) dan badan air penerima (*receiving waters*). Secara fungsional kita sulit memisahkan secara jelas antara sistem drainase dan pengendalian banjir. Namun, secara praktis kita dapat mengatakan bahwa drainase menangani kelebihan air sebelum masuk ke alur-alur besar atau sungai (Suripin, 2004).

### 2.2 Banjir

Banjir didefinisikan sebagai fenomena alam meluapnya air dari badan air seperti sungai, danau, waduk, laut, dan saluran serta tampungan air lainnya termasuk saluran drainase mengakibatkan genangan di lahan sekitarnya. Luapan air tersebut disebabkan karena naiknya permukaan air di saluran secara signifikan dan tidak biasa yang diakibatkan oleh intensitas hujan yang tinggi (Al amin, 2020).

Pada umumnya banjir diartikan sebagai peristiwa terjadinya peningkatan debit air yang signifikan sehingga berpotensi menimbulkan gangguan atau bencana. Peningkatan debit dapat terjadi sebagai akibat dari perubahan kondisi lingkungan dan intensitas hujan (Kustamar, 2019).

Intensitas hujan sering kali berubah terpengaruh kondisi iklim “global”. Perubahan intensitas hujan berakibat pada peningkatan volume limpasan permukaan yang harus dialirkan. Banjir akan terjadi jika peningkatan volume tersebut tidak seimbang dengan kapasitas sistem drainase alami yang ada (Kustamar, 2019).

### **2.3 Daerah Tangkapan Air (*Catchment Area*)**

*Catchment area* adalah daerah cakupan/tangkapan apabila terjadi hujan. Semakin besar *catchment area* maka semakin besar pula debit yang terjadi. Prinsip dasar dari penentuan daerah tangkapan adalah dengan prinsip beda tinggi (Nurhamidin et al., 2015). *Catchment area* merupakan suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis yang dapat berupa punggung-punggung bukit atau gunung dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

### **2.4 Analisis Hidrologi**

Hidrologi adalah suatu ilmu yang mempelajari seluk beluk air, kejadian dan distribusinya, sifat fisik dan sifat kimianya, serta tanggapannya terhadap perilaku manusia (Nurhamidin et al., 2015).

Analisis hidrologi dilakukan guna mendapatkan besarnya intensitas curah hujan, sebagai dasar perhitungan debit rencana pada suatu daerah untuk mengevaluasi perencanaan sistem drainase. Hal ini berguna untuk menentukan ukuran dan besaran hidroliknya. Sehingga diharapkan dapat menghasilkan rancangan yang mampu mencukupi kebutuhan debit rencana (debit maksimum) (Tamimi, 2015).

#### 2.4.1 Hujan Kawasan

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang hanya terjadi pada satu tempat atau satu titik saja (*point rainfall*). Hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan luas, satu alat penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan wilayah tersebut. Hujan kawasan diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam atau sekitar kawasan tersebut (Suripin, 2004).

Ada 3 macam cara yang umum dipakai dalam menghitung hujan rata-rata kawasan, diantara-Nya metode Rerata Aritmatik, *Polygon Thiessen* dan *Isohyet*.

##### a. Rata-rata Aljabar (Rata-rata Aritmatika)

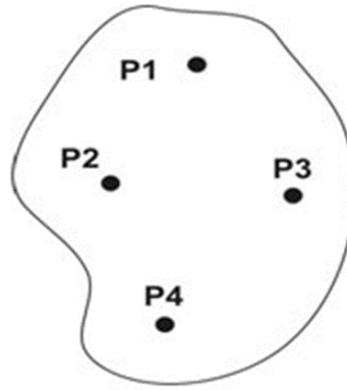
Metode rata-rata aritmatika ini merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan hujan kawasan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau data, alat penakar tersebar merata atau hampir merata dan harga individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya. Hujan kawasan diperoleh dari persamaan (Suripin, 2004).

$$\bar{p} = \frac{P_1+P_2+P_3+\dots+P_n}{n} \quad (2.1)$$

Keterangan:

P = Curah Hujan yang tercatat di pos penakar hujan.

n = Banyaknya pos penakar hujan.



Gambar 2.1 Metode Rata-rata Aritmatika  
(Triatmodjo, 2006)

b. Metode *Polygon Thiessen*

Metode *polygon thiessen* dikenal juga sebagai metode rata-rata timbang (*weighted average*). Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan (faktor pembobot) untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat. Diasumsikan bahwa variasi hujan antara pos yang satu dengan lainnya adalah linier dan bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat (Suripin, 2004).

Hasil metode *polygon thiessen* lebih akurat dibandingkan dengan metode rata-rata aljabar. Cara ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500-5000 km<sup>2</sup>, dan jumlah pos penakar hujan terbatas dibanding luasnya.

Prosedur penerapan metode ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

1. Lokasi pos penakar hujan diplot pada peta DAS, antar pos penakar dibuat garis lurus penghubung.

2. Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk *Polygon Thiessen*. Semua titik dalam satu poligon mempunyai jarak terdekat dengan pos penakar yang ada di dalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap pos lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada pos tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan.
3. Luas area pada tiap-tiap *Polygon* dapat diukur dengan menggunakan planimeter dan luas total DAS (A) dapat diketahui dengan menjumlahkan semua luasan poligon.
4. Hujan rata-rata DAS dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{p} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.2)$$

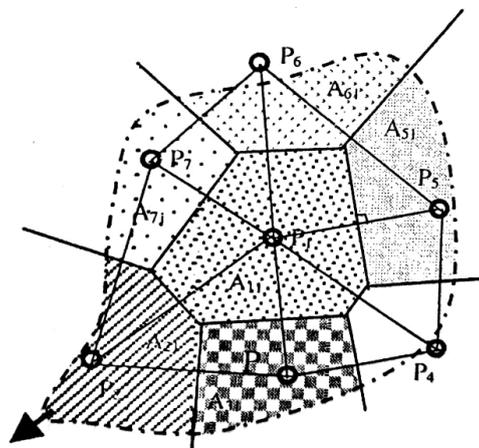
Keterangan:

$\bar{p}$  = Hujan rerata kawasan

$P_n$  = Curah Hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1,2,  $n$

$A_n$  = Luas area poligon 1, 2, ...,  $n$

$n$  = Banyaknya pos penakar hujan.



Gambar 2.2 Metode Polygon Thiessen  
(Suripin, 2004).

c. Metode Isohyet

Metode isohyet merupakan metode untuk menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian dan pengalaman. Cara ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Metode ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

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

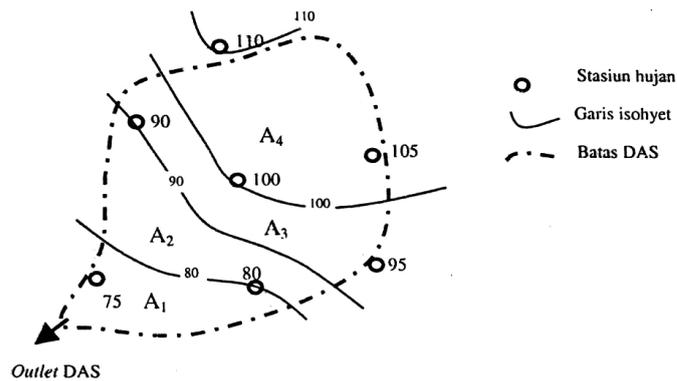
$$\bar{p} = \frac{A_1 \left[ \frac{P_1 + P_2}{2} \right] + A_2 \left[ \frac{P_2 + P_3}{2} \right] + A_3 \left[ \frac{P_3 + P_4}{2} \right] + \dots + A_n \left[ \frac{P_{n-1} + P_n}{2} \right]}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1}} \quad (2.3)$$

Keterangan:

P = Hujan rerata kawasan

P<sub>n</sub> = Curah Hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n

A<sub>n</sub> = Luas area poligon 1, 2, ..., n



Gambar 2.3 Metode Isohyet  
(Suripin, 2004).

#### 2.4.2 Cara Memilih Metode

Pemilihan metode yang cocok dipakai pada suatu DAS dapat ditentukan dengan mempertimbangkan tiga faktor berikut:

1. Jaring-jaring pos penakar hujan dalam DAS
2. Luas DAS
3. Topografi DAS

Tabel 2.1 Metode Berdasarkan Jaring-jaring Pos Penakar Hujan

Jumlah Pos Penakar	Metode yang digunakan
Pos Penakar Hujan Cukup	Metode Isohyet, <i>Thiessen</i> dan Rata-rata Aljabar
Pos Penakar Hujan Terbatas	Metode Rata-rata Aljabar, dan <i>Thiessen</i>
Pos Penakar Hujan Tunggal	Metode Hujan Titik

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2.2 Metode Berdasarkan Luas DAS

Luas DAS (km <sup>2</sup> )	Metode yang digunakan
DAS besar (>5000 km <sup>2</sup> )	Metode Isohyet
DAS sedang (500>DAS>5000 km <sup>2</sup> )	Metode <i>Polygon Thiessen</i>
DAS kecil (<500 km <sup>2</sup> )	Metode Rata-rata Aljabar

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2.3 Metode Berdasarkan Topografi DAS

Jenis Topografi DAS	Metode yang digunakan
Pegunungan	Metode Rata-rata Aljabar
Dataran	Metode <i>Polygon Thiessen</i>
Bukit tidak beraturan	Metode Isohyet

(Sumber : Suripin, 2004)

### 2.4.3 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrem yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung (Independent) dan terdistribusi secara acak dan bersifat stokastik (Suripin, 2004). Dalam bidang hidrologi terdapat beberapa macam distribusi frekuensi dan empat jenis distribusi yang digunakan, yaitu:

a. Distribusi Normal

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

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

Keterangan:

$X_T$  = Hujan maksimum dalam periode ulang T tahun

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata hitung varian

$S$  = Deviasi standar nilai varian

$K_T$  = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang

Dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

Nilai faktor reduksi gauss (*Variable reduced Gauss*) yang didapat untuk mempertimbangkan nilai variabel yang di sajikan pada Tabel 2.4 (Suripin, 2004).

Tabel 2.4 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	$K_T$
1	1,001	0,999	-3,050
2	1,005	0,995	-2,580
3	1,010	0,990	-2,330

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	$K_T$
4	1,050	0,950	-1,640
5	1,110	0,900	-1,280
6	1,250	0,800	-0,840
7	1,330	0,750	-0,670
8	1,430	0,700	-0,520
9	1,670	0,600	-0,520
10	2,000	0,500	0,000
11	2,500	0,400	0,250
12	3,330	0,300	0,520
13	4,000	0,250	0,670
14	5,000	0,200	0,840
15	10,000	0,100	1,280
16	20,000	0,050	1,640
17	50,000	0,020	2,050
18	100,000	0,010	2,330
19	200,000	0,005	2,580
20	500,000	0,002	2,880
21	1000,000	0,001	3,090

(Sumber : Suripin, 2004)

b. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, jika variabel acak  $Y = \log X$  terdistribusi secara normal, maka  $X$  dikatakan mengikuti distribusi Log Normal (Suripin, 2004).

Perhitungan curah hujan rencana menggunakan persamaan berikut ini:

$$Y = \text{Log}X \quad (2.5)$$

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

Keterangan:

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

T tahunan

$\bar{Y}$  = Nilai rata-rata hitung variat

S = Deviasi standar nilai variat

$K_T$  = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang

dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

c. Distribusi Log Person Type III

Tiga parameter penting dalam Distribusi Log Person Type III yaitu :

1. Harga rata-rata
2. Simpangan baku
3. Koefisien kemencengan, jika koefisien kemencengan sama dengan nol, maka distribusi kembali ke distribusi Log Normal

Berikut ini langkah-langkah penggunaan distribusi Log-Person tipe III:

1. Ubah data ke dalam bentuk logaritmis,

$$X = \log X \quad (2.7)$$

2. Hitung harga rata-rata :

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

3. Hitung harga simpangan baku atau standar deviasi :

$$S = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1} \right]^{0.5} \quad (2.9)$$

4. Hitung Koefisien kemencengan :

$$G = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \quad (2.10)$$

5. Hitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T dengan rumus:

$$\text{Log } X_T = \text{Log } X + K_T S \quad (2.11)$$

Keterangan:

$\log X_i$  = logaritma curah hujan dalam periode ulang T (mm/hari)

$\log \bar{X}$  = Jumlah pengamatan

$X_T$  = Hujan maksimum dimana periode ulang tahunan

$X$  = Curah hujan rata-rata dengan  $\log x$

$S$  = Deviasi standar nilai variat

$K_T$  = Frekuensi faktor

Nilai frekuensi faktor untuk metode Log Person Type III disajikan pada Tabel

2.5 (Suripin, 2004).

Tabel 2.5 Nilai  $K_T$  Metode Log Person Type III

No	Koef G	Interval kejadian ( <i>Recurrence interval</i> ), tahun (pu)					
		2	5	10	25	50	100
		Persentase peluang Terlampaui					
		50	20	10	4	2	1
1	3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,501
2	2,8	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
3	2,6	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889
4	2,4	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
5	2,2	-0,333	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
6	2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,192	3,605
7	1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
8	1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
9	1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
10	1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
11	1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
12	0,8	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
13	0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
14	0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
15	0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
16	0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,051	2,326
17	-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
18	-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
19	-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
20	-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
21	-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
22	-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
23	-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
24	-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
25	-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
26	-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990
27	-2,2	0,330	0,752	0,884	0,888	0,900	0,905
28	-2,4	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832

No	Koef G	Interval kejadian ( <i>Recurrence interval</i> ), tahun (pu)					
		2	5	10	25	50	100
		Persentase peluang Terlampaui					
		50	20	10	4	2	1
29	-2,6	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
30	-2,8	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714
31	-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

(Sumber : Suripin, 2004)

d. Distribusi Gumbel

Distribusi gumbel ini biasanya menggunakan harga ekstrim untuk menunjukkan bahwa dalam deret harga-harga ekstrim  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  mempunyai fungsi distribusi eksponensial ganda. Perhitungan hujan rencana berdasarkan

Distribusi Gumbel dengan rumus-rumus berikut :

$$X_T = \bar{X} + S \times K \quad (2.12)$$

$X_T$  = Hujan rencana atau debit dengan periode ulang T

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata dari data hujan (X)

S = Standar deviasi (simpangan baku) dari data hujan (X)

K = Faktor probabilitas

Faktor probabilitas K untuk harga-harga ekstrim Gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$K = \frac{Y_{TR} - Y_n}{S_n} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$Y_n$  = Reduce mean

$S_n$  = Reduce standard deviation

$Y_{TR}$  = Reduce variate, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$Y_{TR} = -\ln \left[ \ln \left( \frac{T_r - 1}{T} \right) \right] \quad (2.14)$$

Tabel 2.6 *Reduce Mean, Y<sub>n</sub>*

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,495	0,499	0,503	0,507	0,510	0,512	0,515	0,518	0,502	0,522
20	0,523	0,525	0,526	0,528	0,529	0,530	0,532	0,533	0,534	0,535
30	0,536	0,537	0,538	0,538	0,539	0,540	0,541	0,541	0,542	0,543
40	0,543	0,544	0,544	0,545	0,545	0,546	0,546	0,547	0,547	0,548
50	0,548	0,549	0,549	0,549	0,550	0,500	0,550	0,551	0,551	0,551
60	0,552	0,552	0,552	0,553	0,553	0,553	0,553	0,554	0,554	0,554
70	0,554	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,556	0,556	0,556	0,556
80	0,556	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557	0,558	0,558	0,558	0,558
90	0,558	0,558	0,558	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559
100	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,561	0,561	0,561

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2.7 *Reduce Standard Deviation, S<sub>n</sub>*

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,949	0,968	0,983	0,997	1,009	1,020	1,031	1,041	1,049	1,056
20	1,062	1,069	1,075	1,081	1,086	1,091	1,096	1,100	1,104	1,108
30	1,112	1,115	1,119	1,122	1,125	1,128	1,131	1,133	1,136	1,138
40	1,141	1,144	1,145	1,148	1,149	1,151	1,153	1,155	1,137	1,159
50	1,160	1,162	1,163	1,166	1,166	1,168	1,169	1,171	1,172	1,173
60	1,174	1,175	1,177	1,178	1,179	1,180	1,181	1,182	1,183	1,184
70	1,185	1,186	1,187	1,188	1,189	1,190	1,191	1,191	1,192	1,193
80	1,194	1,194	1,195	1,195	1,197	1,197	1,198	1,199	1,199	1,200
90	1,201	1,201	1,202	1,202	1,203	1,204	1,204	1,205	1,205	1,206
100	1,206	1,206	1,207	1,208	1,208	1,208	1,209	1,209	1,209	1,209

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2.8 *Reduced Variate, Y<sub>TR</sub> Sebagai Fungsi Periode Ulang*

No	Periode Ulang, Tr (Tahun)	Reduced Variate, Y <sub>Tr</sub>
1	2	0,3668
2	5	1,5004
3	10	2,2510
4	20	2,9709
5	25	3,1993
6	50	3,9028
7	75	4,3117
8	100	4,6012
9	200	5,2969
10	250	5,5206
11	500	6,2149
12	1000	6,9087
13	5000	8,5188
14	10000	9,2121

(Sumber : Suripin, 2004)

Syarat - syarat batas penentuan sebaran dapat dilihat pada Tabel 2.9 yang disajikan berikut ini (Suripin, 2004).

Tabel 2.9 Syarat-syarat Batas Penentuan Sebaran

No	Distribusi	Syarat
1	Normal	$C_s = 0$
		$C_k = 3$
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$
		$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	$C_s = 1,14$
		$C_k = 5,4$
4	Log Pearson III	Selain dari nilai di atas

#### 2.4.4 Uji Kecocokan

Uji Kecocokan dilakukan untuk menguji kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Berikut beberapa parameter pengujian yang sering digunakan:

##### a. Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat dilakukan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis (Suripin, 2004).

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.15)$$

Dengan:

$X^2$  = Parameter Chi-Kuadrat

$G$  = Jumlah sub kelompok

$O_i$  = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke  $i$

$E_i$  = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke  $i$

Parameter  $X_h^2$  merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai  $X_h^2$  sama atau lebih kecil dari pada nilai Chi-Kuadrat yang sebenarnya ( $X^2$ ). Dapat dilihat pada Tabel 2.10 berikut (Suripin, 2004).

Tabel 2.10 Nilai Kritis untuk Distribusi Chi-Kuadrat

Dk	$\alpha$ (Derajat Kepercayaan)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,000039	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,789
2	0,01	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,21	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,86
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,07	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	21,995
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	22,326	24,736	27,388	29,819
14	4,075	4,66	5,629	6,571	23,685	26,119	19,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,448	20,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32	34,276
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,857	30,191	33,409	35,718
18	6,225	7,015	8,231	9,39	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,114	32,853	36,191	38,582
20	7,434	8,26	9,591	10,851	31,14	34,17	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
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	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	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	12,897	14,753	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
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

(Sumber : Suripin, 2004)

Prosedur uji kecocokan Chi-Kuadrat adalah (Suripin, 2004) :

1. Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya).
  2. Kelompokkan data menjadi G sub-kelompok, tiap-tiap sub-kelompok minimal terdapat 4 data pengamatan.
  3. Jumlahkan data pengamatan sebesar  $O_i$  tiap-tiap sub-kelompok.
  4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar  $E_i$
  5. Tiap-tiap sub-kelompok hitung nilai:  $(O_i - E_i)^2$  dan  $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ .
  6. Jumlah seluruh G sub-kelompok nilai  $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$  untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat hitung.
  7. Tentukan derajat kebebasan  $Dk = G - R - 1$  (nilai  $R = 2$  untuk distribusi normal dan binomial)
- b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut :

1. Mengurutkan data ( $X_i$ ) dari yang besar ke kecil atau sebaliknya. Dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut

$$X_1 = P(X_1)$$

$$X_2 = P(X_2)$$

$$X_3 = P(X_3) \text{ dan seterusnya}$$

2. Mengurutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran dara (persamaan distribusinya)

$$X_1 = P'(X_1)$$

$$X_2 = P'(X_2)$$

$$X_3 = P'(X_3) \text{ dan seterusnya}$$

3. Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis

$$D = \text{maksimum} (P(X_n) - P'(X_n))$$

4. Berdasarkan tabel nilai kritis (*smirnov-kolmogorov test*) tentukan harga ( $D_0$ ) dari Tabel 2.11 (Suripin, 2004).

Tabel 2.11 Nilai Kritis  $D_0$  untuk uji Smirnov-Kolmogorov

N	Derajat kepercayaan ( $\alpha$ )			
	0,20	0,10	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	$\frac{1,07}{N^{0,5}}$	$\frac{1,22}{N^{0,5}}$	$\frac{1,36}{N^{0,5}}$	$\frac{1,63}{N^{0,5}}$

(Sumber : Suripin, 2004)

#### 2.4.5 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (*IDF = Intensity-Duration-Frequency Curve*). Data hujan jangka pendek seperti, 5 menit, 10 menit, 30 menit, dan 60 menit diperlukan untuk membuat lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (*IDF*) (Suripin, 2004).

Untuk mendapatkan intensitas hujan ( $I$ ) dapat menggunakan curah hujan maksimum dari rumus Mononobe sebagai berikut

#### 1. Rumus Mononobe

Rumus mononobe digunakan apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian. Parameter ini digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan setiap waktu berdasarkan data curah hujan harian:

$$It = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.16)$$

Keterangan:

$It$  = Intensitas hujan (mm/jam)

$t$  = Lamanya hujan (jam)

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

## 2.5 Debit Banjir Rencana

Debit rencana dihitung dengan menggunakan rumus rasional. Data yang diperlukan antara lain luas DTA (*Catchment Area* masing-masing saluran), intensitas hujan selama waktu konsentrasi dan nilai koefisien limpasan. Intensitas hujan dihitung menggunakan rumus Mononobe. Debit kapasitas dihitung menggunakan rumus Manning dengan data masukan yaitu data dimensi saluran. Data-data yang dibutuhkan diantaranya-Nya data karakteristik sungai, data hujan, data debit sungai, data hidrograf banjir dan data morfologi sungai. Metode yang digunakan dalam menghitung debit banjir sangat bergantung pada ketersediaan data (Nurhamidin et al., 2015).

Perhitungan debit puncak untuk drainase di daerah perkotaan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus rasional atau hidrograf satuan. Perhitungan debit

rencana berdasar periode ulang hujan tahunan, 2 tahunan, 5 tahunan dan 10 tahunan, dan 25 tahunan. Data yang diperlukan meliputi data batas dan pembagian daerah tangkapan air, tataguna lahan dan data hujan. Standar yang telah ditetapkan baik debit rencana dan cara analisis yang dipakai, tinggi jagaan, struktur saluran dll. dapat dipakai dalam perencanaan saluran drainase (Irsan & Dinisari, n.d.). Standar desain untuk saluran drainase disajikan pada Tabel 2.12

Tabel 2.12 Kriteria Desain Hidrologi Saluran Drainase Perkotaan

<b>Luas DTA (ha)</b>	<b>Periode ulang (Tahun)</b>	<b>Metode Perhitungan Debit Banjir</b>
< 10	2	Rasional
10 – 100	2 – 5	Rasional
101 – 500	5 – 20	Rasional
> 500	10 – 25	Hidrograf satuan

(Sumber : Suripin,2004)

Besarnya debit rancangan drainase perkotaan umumnya dihitung dengan metode rasional. Metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya, namun penggunaannya terbatas untuk DAS-DAS yang ukurannya kecil, yaitu kurang dari 300 ha. Karena model ini merupakan model kotak hitam, maka tidak dapat menerangkan hubungan curah hujan dan aliran permukaan dalam bentuk hidrograf. Persamaan matematik metode rasional dinyatakan dalam bentuk (Suripin, 2004):

$$Q_p = 0,002778C.I.A \quad (2.17)$$

Keterangan:

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

$C$  = Koefisien aliran permukaan ( $0 \leq C \leq 1$ )

$I$  = Intensitas hujan (mm/jam)

$A$  = Luas DAS (ha)

### 2.5.1 Koefisien Limpasan (*Runoff*)

Limpasan merupakan gabungan antara aliran permukaan, aliran-aliran yang tertunda pada cekungan-cekungan, dan aliran bawah permukaan (*subsurface flow*) (Suripin, 2004). Koefisien limpasan untuk drainase perkotaan sangat dipengaruhi oleh daerah kedap air dapat dihitung dengan parameter sebagai berikut:

$$C = 0,91I_m + (1 - I_m)C_p \quad (2.18)$$

Keterangan:

$C_p$  = Koefisien limpasan untuk daerah tidak kedap air

$I_m$  = Rasio kedap air, dimana  $I_m = \frac{A_{kedap\ air}}{A_{total}}$

Nilai C komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_k = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n}{A_{total}} \quad (2.19)$$

Koefisien limpasan juga dapat diperkirakan berdasarkan tata guna lahan dan kondisi permukaan lahan. Untuk memperoleh nilai koefisien limpasan disajikan pada Tabel 2.13, Tabel 2.14, dan Tabel 2.15 (Badan Standardisasi Nasional, 2016).

Tabel 2.13 Koefisien Limpasan dan Persentase Kedap Air Tata Guna Lahan

Tata Guna Lahan	Karakteristik	C	$I_m$ (%)	Keterangan
Pusat perbelanjaan dan perkantoran		0,90	100	Berkurang untuk bangunan tidak penuh
Pemukiman (kepadatan menengah-tinggi)	20 rmh/ha	0,48	30	Bandingkan daerah kedap air dengan daerah lain
	30 rmh/ha	0,55	40	
	40 rmh/ha	0,65	60	
	60 rmh/ha	0,75	75	

<b>Tata Guna Lahan</b>	<b>Karakteristik</b>	<b>C</b>	<b>I<sub>m</sub> (%)</b>	<b>Keterangan</b>
Pemukiman (kepadatan rendah)	10 rmh/ha	0,40	<20	CN = 85 ( <i>Curve Number</i> )
Taman	Daerah datar	0,30	0	
Pedesaan	Tanah berpasir	0	0	C=0,20; CN=60
	Tanah berat ( <i>heavy soil</i> )	0	0	C=0,35; CN=75
	Daerah irigasi	0	0	C=0,50; CN=85

(Sumber : Badan Standardisasi Nasional 2016)

Tabel 2.14 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan Tata Guna Lahan

<b>Karakteristik tanah</b>	<b>Tata Guna Lahan</b>	<b>Koefisien Limpasan I</b>
Campuran pasir dan/atau campuran kerikil	Pertanian	0,20
	Padang rumput	0,15
	Hutan	0,10
Geluh dan sejenisnya	Pertanian	0,40
	Padang rumput	0,35
	Hutan	0,30
Lempung dan sejenisnya	Pertanian	0,50
	Padang rumput	0,45
	Hutan	0,40

(Sumber : Badan Standardisasi Nasional 2016)

Tabel 2.15 Nilai Koefisien Limpasan

<b>Jenis Daerah</b>	<b>Koefisien Aliran</b>	<b>Kondisi Permukaan</b>	<b>Koefisien Aliran</b>
Daerah Perdagangan		Jalan Aspal	
	Kota	Aspal dan beton	0,70-0,95
	Sekitaran Kota	Batu bata dan batako	0,70-0,85
Daerah Pemukiman		Atap Rumah	0,70-0,95
	Satu Rumah	Halaman berumput, tanah pasir	
	Banyak Rumah, terpisah		
Banyak Rumah, rapat	0,60-0,75	Datar, 2%	0,05-0,10

Jenis Daerah	Koefisien Aliran	Kondisi Permukaan	Koefisien Aliran
Pemukiman, pinggiran kota	0,25-0,40	Rata-rata 2-7 %	0,10-0,15
Apartemen	0,50-0,70	Curam, 7% atau lebih	0,15-0,20
Daerah Industri		Halaman berumput, tanah pasir padat	
Ringan	0,50-0,80	Datar 2%	0,13-0,17
Padat	0,60-0,90	Rata-rata 2-7 %	0,18-0,22
Lapangan, kuburan & sejenisnya	0,10-0,25	Curam, 7% atau lebih	0,25-0,35
Halaman, jalan kereta api & sejenisnya	0,20-0,35		
Lahan tidak dipelihara	0,10-0,30		

(Sumber : Badan Standardisasi Nasional 2016)

### 2.5.2 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 aliran. Waktu konsentrasi dibagi atas 2 bagian:

- Inlet time* ( $t_o$ ) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di atas permukaan tanah menuju saluran drainase.
- Conduit time* ( $t_d$ ) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di sepanjang saluran sampai titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir. Sehingga waktu konsentrasi dapat dihitung dengan rumus berikut (Suripin, 2004). Rumus waktu konsentrasi yang digunakan, sebagai berikut:

$$t_c = t_o + t_d \quad (2.20)$$

Dimana :

$$t_o = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{s}} \right) \quad (2.21)$$

$$t_d = \frac{Ls}{60v} \quad (2.22)$$

Keterangan:

$S$  = Kemiringan saluran

$L$  = Panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m)

$L_s$  = Panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m)

$v$  = Kecepatan aliran di dalam saluran (m/det)

$n$  = Angka kekasaran manning

Kecepatan rata-rata dapat dipertimbangkan dari nilai kemiringan rata-rata, seperti yang disajikan pada Tabel 2.16 (Hasmar, 2011).

Tabel 2.16 Kemiringan Rata-rata terhadap Kecepatan Rata-rata

<b>Kemiringan Rata-rata (%)</b>	<b>Kecepatan Rata-rata (m/det)</b>
<1	0,4
1 Sampai < 2	0,6
2 Sampai < 4	0,9
4 Sampai < 6	1,2
6 Sampai < 10	1,5
10 Sampai < 15	2,4

(Sumber: Hasmar,2011)

### 2.5.3 Intensitas Hujan

Pengaruh intensitas hujan terhadap limpasan permukaan sangat tergantung pada laju infiltrasi. Jika intensitas hujan melebihi laju infiltrasi, maka akan terjadi limpasan permukaan sejalan dengan peningkatan intensitas curah hujan. Namun demikian, peningkatan limpasan permukaan tidak selalu sebanding dengan peningkatan intensitas hujan karena adanya penggenangan di permukaan tanah. Intensitas hujan berpengaruh pada debit maupun volume limpasan (Suripin, 2004).

### 2.5.4 Luas Daerah Pengaliran

Luas daerah pengaliran adalah aliran yang jatuh dalam suatu daerah tangkapan air yang luas daerah pengalirannya dihitung berdasarkan *catchment area* tersebut yang masuk menjadi beban pada saluran drainase (Lindawati, 2021).

## 2.6 Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika merupakan analisis lanjutan dari analisis hidrologi khususnya sebagai *input* penentuan bentuk dimensi saluran berdasarkan debit banjir rancangan. Analisis hidrolika ini terdapat tiga tahap analisis, yaitu analisis terhadap kapasitas maksimum saluran drainase eksisting, evaluasi kapasitas saluran terhadap debit rancangan dan evaluasi tinggi dan kemiringan saluran yang ideal berdasarkan kapasitas/volume air yang masuk.

### 2.6.1 Bentuk Saluran

Saluran drainase jalan menggunakan penampang hidrolis terbaik, yakni dengan luas minimum yang mampu membawa debit maksimum. Secara umum, debit yang mampu dibawa oleh saluran drainase dapat didekati dengan menggunakan persamaan Manning sebagai berikut (Resmani, 2017)

$$Q_{sal} = V_{sal} \cdot A_{sal} \quad (2.23)$$

$$V_{sal} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \cdot S_{sal}^{0,5} \quad (2.24)$$

Keterangan:

$Q_{sal}$  = Debit pada saluran (m<sup>3</sup>/det)

$V_{sal}$  = Kecepatan aliran di saluran (m/det)

$A_{sal}$  = Luas penampang basah (m<sup>2</sup>)

$n$  = Koefisien kekasaran manning

$R$  = Jari-jari hidrolis (m)

$S_{sal}$  = Kemiringan dasar saluran

Tabel 2.17 Tipikal harga koefisien kekasaran Manning,  $n$ , yang sering digunakan

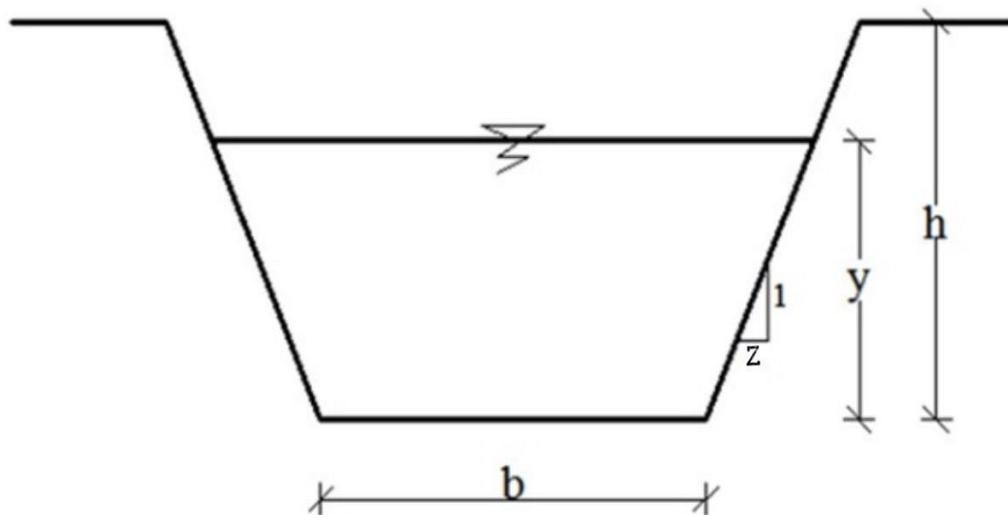
No	Tipe Saluran dan jenis bahan	Harga $n$		
		Minimum	Normal	Maksimum
1.	Beton			
	• Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran.	0,010	0,011	0,013
	• Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0,011	0,013	0,014
	• Beton dipoles			
	• Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,011 0,013	0,012 0,015	0,014 0,017
	2.	Tanah, lurus dan seragam		
	• Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	• Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	• Berkerikil	0,022	0,025	0,030
	• Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
3.	Saluran Alam			
	• Bersih lurus			
	• Bersih, berkelok-kelok	0,025	0,030	0,033
	• Banyak tanaman	0,033	0,040	0,045
	• pengganggu	0,050	0,070	0,08
	• Dataran banjir berumput pendek-tinggi	0,025	0,030	0,035
	• Saluran di belukar	0,035	0,050	0,07

(Sumber : Suripin, 2004)

Fungsi dan unsur geometris penampang saluran:

a. Trapesium

Trapesium berfungsi untuk menyalurkan limbah dan air hujan dengan debit besar yang sifat alirannya terus menerus dengan fluktuasi kecil. Lokasinya pada daerah yang masih cukup lahan.



Gambar 2.4 Penampang Saluran Trapesium  
(Sumber : Suripin, 2004)

$$\text{Luas (A)} = (b + zy)y \quad (2.25)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \quad (2.26)$$

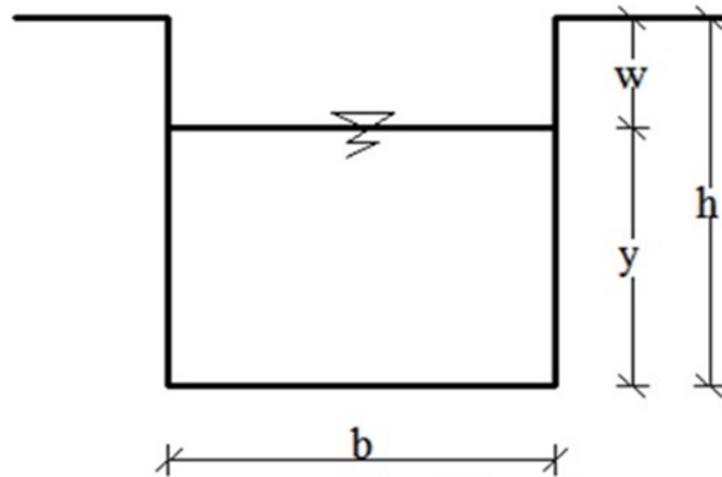
$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}} \quad (2.27)$$

$$\text{Lebar puncak (T)} = b + 2zy \quad (2.28)$$

$$\text{Faktor penampang (z)} = \frac{(b+zy)y^{1,5}}{\sqrt{b+2zy}} \quad (2.29)$$

b. Persegi

Persegi sama dengan trapesium, bedanya adalah dimana lokasi jalur saluran tidak atau kurang tersedia lahan yang cukup.



Gambar 2.5 Penampang Saluran Persegi  
(Sumber : Suripin, 2004)

$$\text{Luas (A)} = b \cdot y \quad (2.30)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2y \quad (2.31)$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{A}{P} \quad (2.32)$$

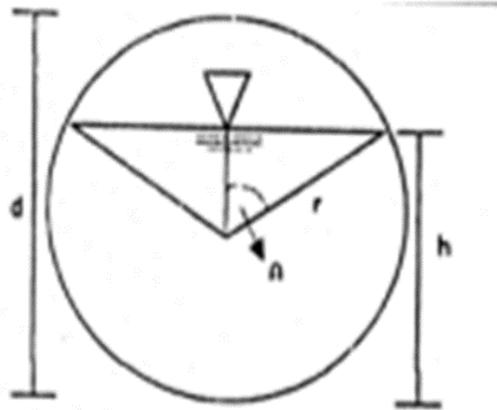
$$\text{Kecepatan aliran (V)} = \frac{1}{n} x R^{\frac{2}{3}} x S^{\frac{1}{2}} \quad (2.33)$$

$$\text{Debit aliran (Q)} = AxV \quad (2.34)$$

$$\text{Tinggi jagaan (w)} = \sqrt{0,5xy} \quad (2.35)$$

c. Lingkaran

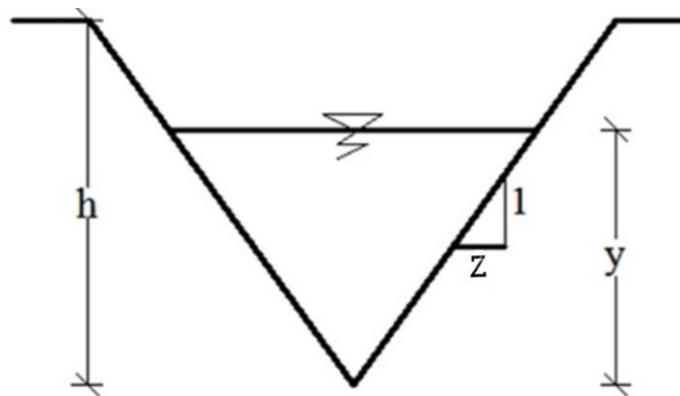
Lingkaran berfungsi untuk menyalurkan air bersih, limbah dan air hujan. Pada penggunaannya biasanya untuk gorong-gorong atau pipa distribusi air bersih.



Gambar 2.6 Penampang Saluran Lingkaran ( Saluran Tertutup)  
(Sumber : Suripin, 2004)

d. Segitiga

Saluran drainase bentuk segitiga tidak banyak membutuhkan ruang sebagai konsekuensi dari saluran bentuk ini, saluran harus dari pasangan. Bentuk ini juga berfungsi sebagai saluran air hujan, air rumah tangga maupun air irigasi.



Gambar 2.7 Penampang Saluran Segitiga  
(Sumber : Suripin, 2004)

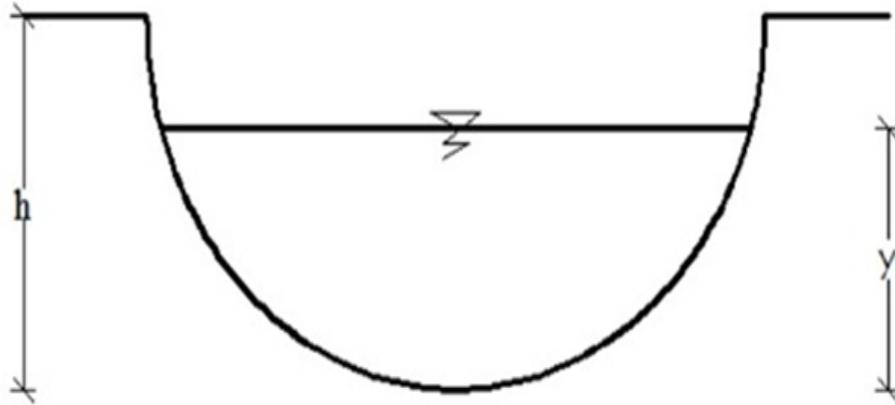
$$\text{Luas penampang basah (A)} = zy^2 \quad (2.36)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = zy\sqrt{1+z^2} \quad (2.37)$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{zh}{2\sqrt{1+z^2}} \quad (2.38)$$

e. Setengah Lingkaran

Berfungsi untuk menyalurkan limbah air hujan dengan debit kecil.



Gambar 2.8 Penampang Saluran Setengah Lingkaran  
(Sumber : Suripin, 2004)

### 2.6.2 Kapasitas Pengaliran

Analisis dan pemodelan sistem drainase menggunakan *software* EPA SWMM

5.2 pada ruas Jalan Selakaso dipakai debit banjir rancangan hasil perhitungan dengan kala ulang 5 tahun.

### 2.6.3 Kapasitas Saluran

Perhitungan yang dipakai dalam menghitung kapasitas saluran drainase adalah menggunakan rumus manning :

$$Q = VxA \quad (2.39)$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.40)$$

Keterangan :

R = Jari-jari hidrolis (m)

V = Kecepatan aliran rata-rata (m/det)

n = Koefisien kekasaran *manning*

$Q$  = Kapasitas saluran ( $m^3/det$ )

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

$S$  = Kemiringan dasar saluran

#### 2.6.4 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dalam saluran biasanya sangat bervariasi dari satu titik ke titik lainnya. Hal ini disebabkan adanya geser di dasar dan dinding saluran dan keberadaan permukaan bebas (Suripin, 2004). Kecepatan yang diijinkan sesuai dengan jenis materialnya di sajikan pada Tabel 2.18 dan kemiringan rata-rata saluran terhadap kecepatan rata-rata pada Tabel 2.19 (Hasmar, 2011)

Tabel 2.18 Kecepatan yang Diijinkan Sesuai dengan Jenis Materialnya

No	Jenis Bahan	V yang diizinkan
1	Pasir halus	0,45
2	Lempung Kepasiran	0,50
3	Lanau alluvial	0,60
4	Kerikil halus	0,75
5	Lempung Kokoh	0,75
6	Lempung Padat	1,10
7	Kerikil Kasar	1,20
8	Batu-batu besar	1,50
9	Pasangan Bata	1,50
10	Beton	1,50
11	Beton Bertulang	1,50

(Sumber: Hasmar,2011)

Tabel 2.19 Kemiringan Rata-rata Saluran Terhadap Kecepatan Rata-rata

No	Kemiringan rata-rata saluran (%)	Kecepatan rata-rata (m/det)
1	$< 1$	0,4
2	$1 < X < 2$	0,6
3	$2 < X < 4$	0,9
4	$4 < X < 6$	1,2
5	$6 < X < 10$	1,5
6	$10 < X < 15$	2,4

(Sumber : Hasmar,2011)

Perhitungan kecepatan aliran pada aliran terbuka menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.41)$$

Keterangan:

V = Kecepatan aliran rata-rata dalam saluran (m/det)

n = Koefisien kekasaran manning

R = Jari-jari hidrolis saluran (m)

S = Kemiringan dasar saluran

### 2.6.5 Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan adalah jarak antara elevasi muka air (elevasi muka air pada saat perencanaan) sampai puncak tanggul, yang disediakan untuk perubahan elevasi penuh air akibat angin dan penutupan pintu air di hulu (bukan untuk tambahan debit). Tinggi jagaan untuk saluran terbuka dengan permukaan diperkeras ditentukan berdasarkan pertimbangan; ukuran saluran, kecepatan aliran, arah belokan saluran dan debit banjir. Tinggi jagaan biasanya diambil antara 15 sampai 60 cm (Juliyanti, 2020).

$$W = \sqrt{0,5xh} \quad (2.42)$$

Keterangan:

W = Tinggi jagaan (m)

h = Tinggi muka air (m)

## 2.7 Komponen dan Parameter EPA SWMM 5.2

*Storm Water Management Model* (SWMM) merupakan model dinamik simulasi hujan-aliran (*rainfall-runoff*) yang digunakan untuk simulasi kuantitas maupun kualitas limpasan permukaan terutama dari daerah perkotaan. Limpasan permukaan yang dihasilkan berasal dari daerah tangkapan hujan yang menerima hujan. Beban limpasan permukaan tersebut kemudian dialirkan melalui sistem saluran pipa, saluran terbuka tampungan, pompa dan sebagainya. SWMM menghitung kuantitas dan kualitas limpasan permukaan di setiap daerah tangkapan hujan, dan debit, kedalaman kecepatan, dan variabel lainnya dalam setiap saluran selama periode simulasi dengan tahapan waktu tertentu (Al amin, 2020).

*Software* ini memerlukan *input* parameter agar dapat menyimulasikan limpasan yang terjadi. Adapun *input* parameter tersebut adalah sebagai berikut:

### a. *Rain Gages*

SWMM menggunakan objek *rain gage* untuk menampilkan *input* data ke sistem. *Rain gage* menyuplai data presipitasi untuk satu atau lebih *subcatchment area* pada studi wilayah. Parameter yang dimasukkan adalah:

1. *Rain Format* : Data hujan yang di *input* berupa intensitas atau kumulatif.
2. *Rain Interval* : Interval waktu pengamatan antara pembacaan *gage*.
3. *Data Source* : Sumber data hujan dapat berupa *time series* atau *file external*.

### b. *Subcatchment*

*Subcatchment* adalah luasan yang menerima hujan dan mengalami infiltrasi atau mengubahnya menjadi limpasan (Huber et al., 1975). Parameter yang diinputkan dalam *subcatchment* adalah sebagai berikut:

1. Luas (*Area*) : Luas *subcatchment*.
2. Lebar (*Width*) : Panjang aliran.
3. Kemiringan (% *slope*) : Persentase kemiringan *subcatchment*.
4. % kedap air (% *Impervious*) : Persentase area tanah yang *impervious*.
5. *Manning* kedap air (*N-Imprev*) : Nilai *n manning* untuk aliran permukaan di daerah *impervious*.
6. *Manning* tidak kedap air (*N-Perv*) : Nilai *n manning* untuk aliran permukaan di daerah *pervious*.
7. Kedap air absolut (% *Zero-Imperv*): Persentase dari *impervious* area tanpa *depression storage*.
8. *Infiltration Model* : Pilihan untuk metode perhitungan infiltrasi dan parameternya.
9. *Rain Gage* : Berkaitan dengan *subcatchment*.
10. *Outlet* : Menerima *runoff subcatchment*.

Tinggi genangan pada EPA SWMM atau limpasan hujan pada masing-masing *subcatchment* menggunakan konsep yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$D_1 = D_t + R_t \quad (2.43)$$

Keterangan:

$D_1$  = Kedalaman air setelah terjadi hujan (mm)

$D_t$  = Kedalaman air pada subdas pada saat waktu  $t$  (mm)

$R_t$  = Intensitas hujan pada interval waktu  $t$  (mm/jam)

*Subcatchment* terdapat dua macam jenis area, yaitu *impervious* (kedap air) dan *pervious* (dapat dilalui air). Metode perhitungan infiltrasi pada *pervious area* menggunakan metode Hortom sebagai berikut:

$$F_p = F_c + (F_o - F_c)e^{-kt} \quad (2.44)$$

Keterangan:

$F_p$  = Angka infiltrasi dalam tanah (mm/jam)

$F_c$  = Angka infiltrasi minimum (mm/jam)

$F_o$  = Angka infiltrasi maksimum (mm/jam)

$t$  = Lama hujan (det)

$K$  = Koefisien penurunan *head* (1/det)

Debit *outflow* dari limpasan *subcatchment* dihitung dengan persamaan *manning*:

$$v = \frac{1}{n} D_2^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.45)$$

$$Q = vBD_2 \quad (2.46)$$

Keterangan:

$v$  = Kecepatan (m/s)

$n$  = Koefisien *manning*

$S$  = Kemiringan lahan

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

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk memperhitungkan harga infiltrasi dalam simulasi menggunakan metode *SCS Curve Number*. Metode ini mengasumsikan bahwa infiltrasi tanah yang terjadi didapatkan melalui pemilihan jenis tata guna lahan.

Tabel 2.20 Harga Infiltrasi dari Berbagai Jenis Tanah

Kel	Pengertian	Infiltrasi Min
A	Potensi limpasan yang rendah, tanah mempunyai tingkat infiltrasi yang tinggi meskipun ketika tergenang dan kedalaman genangan yang tinggi, pengeringan/penyerapan baik untuk pasir dan batuan	$\geq 0,45$
B	Tanah mempunyai tingkat infiltrasi biasa/medium/tengah-tengah ketika tergenang dan mempunyai tingkat dengan keadaan biasa ke baik didapat dari <i>moderately to moderately coarse</i>	0,30 – 0,15
C	Tanah mempunyai tingkat infiltrasi rendah jika lapisan tanah untuk pengaliran air dengan tingkat <i>texture</i> bisa ke <i>texture</i> baik. Contoh lempung, pasir berlanau	0,15 – 0,05
D	Potensi limpasan yang tinggi mempunyai tingkat infiltrasi rendah ketika tergenang tanah lempung dengan potensi <i>sweeling</i> yang tinggi, tanah dengan ketinggian air tanah yang tinggi, tanah dengan lapisan lempung dekat dengan permukaan dan <i>shallow</i> yang berdekatan dengan material yang kedap air	0,05 – 0,00

(Sumber : SWMM User's Manual Book,2010)

Tabel 2.21 Curve Number Tutupan Lahan

Deskripsi Tutupan Lahan	Luas Lahan	Curve Number Kelompok Tanah			
		A	B	C	D
Lahan Terbuka Tutupan Lahan	< 50%	68	79	86	89
	50 < 75%	49	69	79	84
	> 75%	39	61	74	80
<i>Impervious Areas</i> Jalan, Atap, Area Parkir	Aspal/Beton	98	98	98	89
	Bebatuan	98	98	98	98
	Tanah	76	85	89	91
		72	82	87	89
Daerah Perkotaan Kawasan Bisnis/Komrsil Industri		89	92	94	95
		81	88	91	93
Daerah Perumahan Kepadatan dengan Luas	<0,05 ha	77	85	90	92
	0,05 < 0,1 ha	61	75	83	87
	0,1 < 0,13 ha	57	72	81	86
	0,13 < 0,2 ha	54	70	80	85
	0,2 < 0,4 ha	51	68	79	84
	0,4 < 0,8 ha	46	65	77	82

(Sumber : SWMM User's Manual Book,2010)

Laju infiltrasi mempunyai klarifikasi tertentu dalam penentuan besarnya laju infiltrasi. Penentuan kelas infiltrasi dapat dilihat pada Tabel 2.24

Tabel 2.22 Klarifikasi Besarnya Laju Infiltrasi

<b>Kelas</b>	<b>Klasifikasi</b>	<b>Laju Infiltrasi (mm/jam)</b>
0	Sangat Lambat	< 1
1	Lambat	1 – 5
2	Agak Lambat	5 – 20
3	Sedang	20 – 63
4	Agak Cepat	63 – 127
5	Cepat	127 – 254
6	Sangat Cepat	> 254

(Sumber : SWMM User's Manual Book,2010)

c. *Junction/Node*

*Junction/node* adalah unit yang dimodelkan sebagai penerima *inflow* dan limpasan dari *subcatchment*. Parameter yang diinputkan pada *junction/node* adalah sebagai berikut:

1. *Node Invert*
2. *Node Max Depth*
3. *Node Pounded Area*
4. *Conduit Length*
5. *Conduit Geometry*
6. *Conduit Roughness*
7. *Flow Units*
8. *Link Offset*
9. *Routing Method*

d. *Conduit/Links*

*Conduit* merupakan saluran yang menghubungkan antara *junction* satu dengan *junction* lainnya atau dari *junction* ke *outfall*. Parameter yang dimasukkan adalah:

1. Bentuk saluran;
2. Kedalaman maksimum saluran;
3. Panjang saluran; Angka kekasaran atau angka *mannig*. Besarnya angka *mannig* tergantung dari jenis bahan yang digunakan pada saluran.

e. *Outfalls*

*Outfall Node* adalah titik pemberhentian dari sistem drainase yang menentukan batas hilir. *Outfall* ini hanya dihubungkan oleh satu *link*. Parameter yang dimasukkan adalah:

1. *Invert Elevation*
2. *Tide Gate*
3. *Fixed Stage*

## **2.8 Konsep Penanganan Banjir Drainase Perkotaan**

Konsep penanganan banjir drainase perkotaan untuk mencegah atau mengurangi kerugian banjir dan memperbaiki lingkungan hidup, maka diperlukan suatu perencanaan dan program pengembangan atau perbaikan sistem drainase (Suripin, 2004). Perbaikan sistem drainase di daerah perkotaan pada umumnya mengikuti tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Mempelajari sistem drainase yang sudah ada saat ini.
2. Merumuskan rencana perbaikan sistem drainase.

3. Perencanaan fasilitas drainase, seperti saluran drainase, tanggul, gorong-gorong, kolam retensi, stasiun pompa, dan lain-lain.
4. Pelaksanaan pekerjaan.
5. Operasi dan pemeliharaan fasilitas drainase.

### **2.8.1 Penambahan Kapasitas Saluran**

Konsep perbaikan saluran drainase didasarkan pada pendekatan prinsip dasar penanggulangan genangan, yaitu kemampuan saluran dalam menampung debit rencana yang terjadi. Perencanaan ulang saluran drainase dibutuhkan sehingga saluran drainase diharapkan mampu menampung kelebihan debit yang tidak mampu ditampung saluran eksisting. Peningkatan kapasitas pada saluran drainase dapat dilakukan dengan cara penambahan pada lebar saluran, kedalaman saluran atau kombinasi dari keduanya. Penambahan kapasitas *outlet* juga bisa dilakukan untuk menampung limpasan yang terjadi. Penambahan lebar saluran lebih diutamakan karena untuk menambah kedalaman harus memperhatikan muka air banjir maksimal (Suprpto et al., 2018).

Besarnya dimensi lebar maupun kedalaman yang ditambahkan perlu diperhatikan, dengan menambah kedalaman saluran maka tinggi muka air perlu diperhatikan agar tidak terjadi aliran balik (*backwater*) terhadap saluran yang diperbaiki, sedangkan dengan menambah lebar saluran maka lebar jalan akan berkurang sehingga sebaik mungkin dihindari. Perbaikan dimensi saluran yang dilakukan berdampak kepada saluran lain karena dapat mengubah debit saluran di sekitarnya (Kartiko & Wasposito, 2018).

Selain menggunakan metode rasional untuk merencanakan dimensi saluran yang mampu mengalirkan debit air yang ada, dimensi saluran juga dapat

direncanakan secara langsung dalam program SWMM dengan cara mengiterasi dimensi saluran dalam program tersebut dapat mengalirkan debit air tanpa terjadi limpasan (Sadewo & Sutoyo, 2018).

Data lebar dan tinggi saluran yang telah dilakukan perbaikan selanjutnya digunakan dalam SWMM 5.2 untuk dilakukan simulasi ulang. Simulasi ulang dilakukan untuk mengetahui kondisi model jaringan drainase setelah perbaikan dilakukan. Perbaikan saluran drainase dianggap berhasil apabila tidak ada saluran yang berwarna merah atau ungu pada jam pertama (Kartiko & Wasposito, 2018).

### **2.8.2 Pembuatan *Long Storage***

*Long storage* adalah sistem tampungan air yang memanfaatkan saluran memanjang sebagai tampungannya.. Dengan adanya tampungan pada *long storage*, waktu puncak banjir dapat diperlambat, sehingga dapat mengurangi debit banjir secara sementara. (Cahyaningsih et al., 2016).

### **2.8.3 Normalisasi Dengan Pemeliharaan Saluran**

Pengerukan sedimen dan pemeliharaan saluran secara berkala perlu dilakukan guna meminimalisir terjadinya penyumbatan pada saluran (Tamimi, 2015) Pemeliharaan merupakan kegiatan yang sangat penting dilakukan untuk tetap menjaga kondisi prasarana dan sarana drainase yang ada.

Proses kegiatan ini terdiri dari beberapa sub komponen yang perlu dilakukan. Kegiatan ini dilakukan dengan durasi waktu baik rutin, berkala maupun khusus tergantung dari komponen prasarana dan sarana yang ada (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2014).

Pemeliharaan yang paling umum dilakukan dan dapat mencegah terjadinya banjir dan genangan yaitu pengerukan sedimen. Jadwal dan langkah pengerukan sedimen ini dilakukan berdasarkan jenis dan ukuran saluran. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2014) :

1. Sedimen yang mengendap di dasar saluran digali dan diangkat ke atas tanggul/tepi saluran dengan alat cangkul dan sekop;
2. Penggalan sedimen harus benar-benar bersih ke dasar saluran;
3. Jika di dalam saluran terdapat sampah, maka sampah diangkat lebih dahulu selanjutnya dilakukan pengerukan sedimen;
4. Sedimen didiamkan terlebih dahulu sampai cukup kering (kira-kira 3 jam) setelah penggalan;
5. Sedimen dan sampah dimasukkan ke dalam karung plastik yang terpisah kemudian diikat;
6. Karung sedimen diangkut ke lokasi yang telah ditentukan dengan menggunakan alat angkut kecil;
7. Karung sampah yang terkumpul diangkut ke tempat pembuangan sementara (TPS) maupun tempat pemrosesan akhir (TPA) dengan menggunakan alat angkut.