

## 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Drainase dan Sistem Drainase

Drainase berasal dari kata *drainage* yang berarti mengeringkan atau mengalirkan. Drainase adalah sistem yang dibuat dengan tujuan agar persoalan kelebihan air baik kelebihan yang berada di atas permukaan tanah maupun di bawah permukaan tanah dapat ditangani. Tingginya intensitas hujan ataupun terjadi hujan dengan durasi yang lama menjadi penyebab kelebihan air (Wesli, 2008). Tujuan dari drainase adalah membuang air berlebih di atas permukaan tanah ataupun menurunkan atau menjaga muka air tanah supaya tidak menjadi genangan, sehingga dampak negatif adanya genangan air dapat dihindari.

Sistem drainase dapat diartikan serangkaian bangunan air yang memiliki fungsi untuk mengurangi ataupun membuang kelebihan air hujan yang berasal dari suatu kawasan, sehingga lahan dapat berfungsi secara optimal. Bangunan pada sistem drainase secara berurutan dimulai dari saluran penerima (*interceptor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*), dan badan penerima air (*receiving water*). Pada sistem drainase sendiri, kerap dijumpai bangunan lain diantaranya gorong-gorong, jembatan-jembatan, talang, ataupun saluran miring/got miring (Kartika et al., 2018).

#### 2.1.1 Drainase Konvensional

Drainase konvensional merupakan upaya yang dilakukan untuk membuang atau mengalirkan air hujan yang berlebih dengan secepat-cepatnya ke sungai. Dalam konsep drainase konvensional, seluruh air hujan yang terjatuh di suatu kawasan harus secepat-cepatnya dibuang ke sungai. Namun apabila penggunaan drainase konvensional dilakukan secara terus menerus, maka akan menimbulkan dampak yang serius seperti kekeringan, banjir, serta longsor.

#### 2.1.2 Drainase Ramah Lingkungan (Ekodrainase)

Drainase ramah lingkungan merupakan upaya yang dilakukan dalam pengelolaan kelebihan air hujan dengan menggunakan berbagai metode. Seperti halnya dengan penampungan pada bak tandon air agar bisa langsung digunakan, penampungan pada tampungan buatan atau badan air alamiah, serta dengan peresapan dan pengaliran air sebanyak-banyaknya ke sungai tanpa melampaui

kapasitas sungai sebelumnya (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2012).

Selama ini sistem drainase yang ada adalah drainase konvensional yang hanya mengalirkan air ke saluran drainase terdekat kemudian langsung dialirkan ke sungai-sungai. Dalam hal ini, tanah tidak mendapatkan kesempatan untuk menyerap air terlebih dahulu sehingga kapasitas sungai dapat meningkat dan menimbulkan bencana banjir. Konsep drainase ramah lingkungan, air hujan tidak hanya dibuang secepat-cepatnya ke sungai. Namun air hujan dapat ditampung di berbagai lokasi yang berbeda dengan berbagai cara, sehingga air tersebut bisa disimpan untuk dimanfaatkan, dapat digunakan untuk mengisi/konservasi air tanah, dan sebagai sarana untuk mengurangi genangan air ataupun banjir. Terdapat beberapa metode penggunaan drainase ramah lingkungan di Indonesia, diantaranya sebagai berikut:

1. Metode Kolam Konservasi

Metode ini dilakukan dengan pembuatan kolam-kolam air baik di kawasan perkotaan, pemukiman, pertanian ataupun perkebunan. Pembuatan kolam konservasi dilakukan sebagai penampungan air hujan, diresapkan, lalu sisanya dialirkan ke sungai secara perlahan. Kolam konservasi digunakan di daerah dengan kondisi topografi yang rendah, daerah bekas galian pasir atau galian material lain.

2. Metode Sumur Resapan

Metode ini dilakukan dengan pembuatan sumur-sumur untuk mengalirkan air hujan yang terjatuh di atas atap perumahan atau kawasan tertentu. Konstruksi dan kedalaman sumur resapan disesuaikan dengan keadaan lapisan tanah setempat.

3. Metode *River Side Polder*

Metode ini dilakukan dengan menahan kelebihan air hujan di sepanjang bantaran sungai. Pembuatan polder dilakukan dengan pelebaran bantaran sungai diberbagai tempat sepanjang aliran sungai. Ketika muka air naik (banjir), sebagian air akan mengalir ke polder dan keluar kembali jika banjir reda, maka banjir di bagian hilir berkurang dan konservasi air tetap terjaga.

#### 4. Metode Pengembangan Areal Perlindungan Air Tanah (*Ground Water Protection Area*)

Metode ini dilakukan dengan penetapan kawasan lindung untuk air tanah, dimana di dalam kawasan tersebut tidak boleh didirikan bangunan apapun. Areal tersebut dikhususkan sebagai tempat peresapan air hujan ke dalam tanah.

### 2.2 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* ditentukan dari peta topografi dan daerah aliran sungainya.

### 2.3 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi sangat diperlukan dalam perencanaan bangunan air. Proses analisis hidrologi adalah proses pengolahan data curah hujan, data luas dan bentuk pengaliran (*catchment area*), data kemiringan lahan/beda tinggi, serta tata guna lahan yang memiliki arahan agar debit banjir rencana, curah hujan rerata, koefisien pengaliran, waktu pengaliran, dan juga intensitas hujan dapat diketahui. Sehingga dengan adanya analisis hidrologi proses evaluasi saluran drainase (eksisting) dapat dilakukan (Kusnan, 2013).

#### 2.3.1 Hujan Kawasan

Hujan menjadi salah satu komponen paling penting dalam suatu perencanaan debit untuk menentukan dimensi saluran drainase. Hujan bervariasi terhadap tempatnya, apabila terdapat suatu kawasan yang memiliki cakupan yang sangat luas maka tidak bisa hanya diwakili oleh satu titik pos pengukuran dan diperlukan titik pos lainnya. Hujan kawasan didapat dari rekaman data rerata curah hujan pos pengukuran hujan di kawasan hujan (Suripin, 2004). Terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan dalam menentukan rerata curah hujan di suatu kawasan, diantaranya adalah sebagai berikut.

##### 2.3.1.1 Metode Rata-rata Aritmatik (Rata-rata Aljabar)

Metode rata-rata aritmatik atau dikenal juga dengan metode rata-rata aljabar merupakan metode paling sederhana dalam perhitungan hujan rerata di dalam suatu

kawasan. Pengukuran pada metode ini dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan, dijumlahkan, kemudian dibagi dengan jumlah stasiun hujan yang ditinjau. Gambar hujan kawasan menggunakan metode aritmatik disajikan pada Gambar 2.1 (Sumber: Standar Nasional Indonesia). Perhitungan hujan kawasan didapat dengan menggunakan rumus:

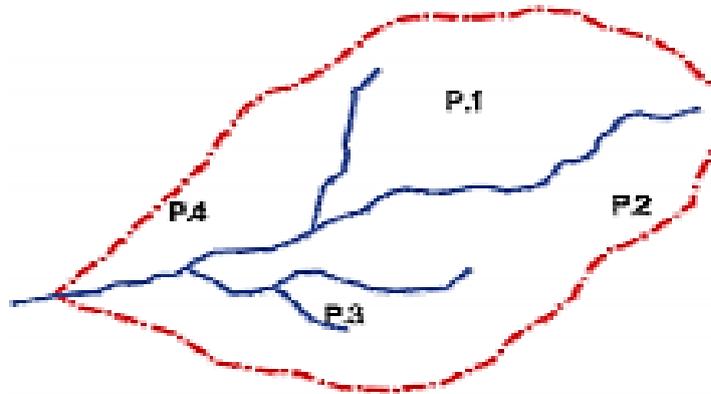
$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad 2.1$$

Dimana:

$\bar{P}$  : Hujan rerata Kawasan

$P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$  : Curah hujan

$n$  : Jumlah stasiun



Gambar 2.1 Hujan Kawasan Metode Aritmatik  
(Sumber: Suripin, 2004)

### 2.3.1.2 Metode *Polygon Thiessen*

Metode ini memperkirakan luas wilayah yang diwakili oleh masing-masing stasiun, tinggi curah hujan, dan jumlah stasiun. Metode *polygon thiessen* digunakan ketika stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak tersebar merata. Poligon dibuat dengan cara menghubungkan garis-garis berat diagonal yang paling pendek dari setiap stasiun hujan. Perhitungan dengan menggunakan metode ini dapat dilakukan jika terdapat setidaknya 3 stasiun hujan yang ditinjau serta koordinat stasiun hujan yang telah diketahui (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018).

Metode ini diawali dengan pembuatan poligon dari setiap stasiun hujan. Setelah poligon terbentuk, maka koefisien thiessen dapat dihitung. Berikut langkah perhitungan hujan kawasan dengan metode *polygon thiessen*:

1. Menentukan stasiun hujan yang akan ditinjau;
2. Mencari hujan harian maksimum dari setiap stasiun yang akan ditinjau;
3. *Plotting* stasiun hujan sesuai dengan koordinat stasiun hujan ke dalam peta;
4. Membuat *Polygon Thiessen*;
5. Menghitung luas daerah yang mewakili setiap stasiun;
6. Menghitung hujan kawasan dengan rumus:

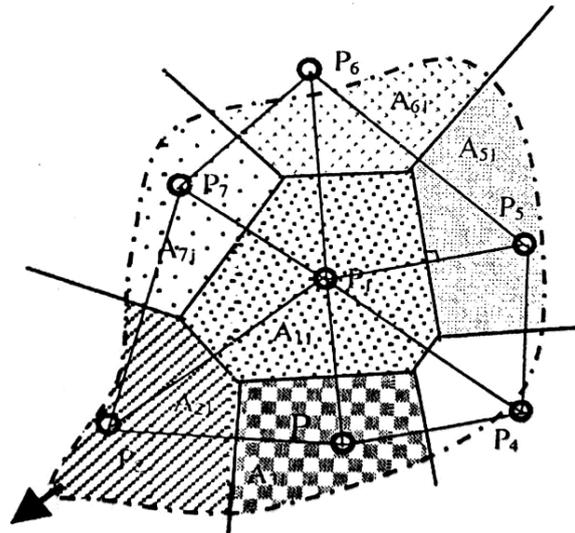
$$\bar{p} = \frac{A_1X_1+A_2X_2+A_3X_3+\dots+A_nX_n}{A_1+A_2+A_3+\dots+A_n} \quad 2.2$$

Dimana:

$\bar{p}$  = Hujan rerata kawasan

$X_n$  = Hujan di stasiun 1, 2, ..., n

$A_n$  = Luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n



Gambar 2.2 Hujan Kawasan Metode *Polygon Thiessen*

(Sumber: Suripin, 2004)

### 2.3.1.3 Metode Isohyet

Isohyet merupakan garis penghubung antara titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode ini, hujan yang terjadi di suatu daerah di antara dua garis isohyet dianggap merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis isohyet tersebut. Penggunaan metode isohyet dilakukan apabila terdapat banyak stasiun hujan serta koordinat masing-masing stasiun hujan yang telah diketahui (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018).

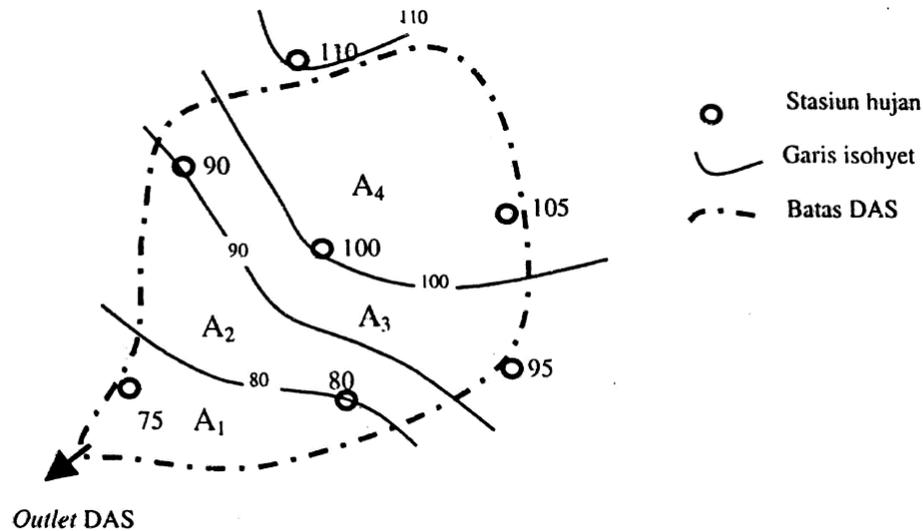
$$\bar{p} = \frac{A_1 \frac{P_1+P_2}{2} + A_2 \frac{P_2+P_3}{2} + A_3 \frac{P_3+P_4}{2} + \dots + A_n \frac{P_{n-1}+P_n}{2}}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad 2.3$$

Keterangan:

P = Hujan rerata kawasan

In = Curah hujan pada masing-masing stasiun

An = Luas area dari titik I



Gambar 2.3 Hujan Kawasan Metode Isohyet

(Sumber: Suripin, 2004)

#### 2.3.1.4 Cara Memilih Metoda

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

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

Pertimbangan tiga faktor dapat dilihat pada Tabel 2,1, Tabel 2.2, Tabel 2.3 yang di sajikan (Suripin, 2004).

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 Aritmatika
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 s.d 5000 km <sup>2</sup> )	Metode <i>Polygon</i> Thiessen
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</i> Thiessen
Bukit tidak beraturan	Metode Isohyet

Sumber: Suripin, 2004

### 2.3.2 Analisis Distribusi Frekuensi

Analisis distribusi frekuensi data hidrologi dilakukan dengan tujuan mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi dengan penggunaan distribusi probabilitas (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018). Beberapa hal yang harus dicari dalam analisis frekuensi sebagai berikut:

#### 1. Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan besar perbedaan antara nilai sampel terhadap nilai rerata.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n}} \quad 2.4$$

Dimana:

$S$  = Standar deviasi

$X_i$  = Nilai varian ke-i

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata varian

$n$  = Jumlah data

#### 2. Koefisien Skewness

Koefisien skewness atau koefisien kemencengan merupakan suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan suatu distribusi.

$$CS = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad 2.5$$

Dimana:

- $CS$  = Koefisien *skewness*  
 $X_i$  = Nilai varian ke- $i$   
 $\bar{x}$  = Nilai rata-rata varian  
 $n$  = Jumlah data  
 $S$  = Simpangan baku

### 3. Koefisien Kurtosis

Pengukuran kurtosis bertujuan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang pada umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^4}{S^4} \quad 2.6$$

Dimana:

- $Ck$  = Koefisien kurtosis  
 $X_i$  = Nilai varian ke- $i$   
 $\bar{x}$  = Nilai rata-rata varian  
 $n$  = Jumlah data  
 $S$  = Simpangan baku

Ilmu statistik terdapat beberapa macam distribusi frekuensi dan beberapa yang sering digunakan adalah sebagai berikut.

#### 2.3.2.1 Distribusi Normal

Perhitungan hujan periode ulang dengan metode distribusi normal dipengaruhi oleh nilai variabel reduksi Gauss (Soewarno, 1995). Rumus yang digunakan untuk mencari periode ulang dengan metode distribusi normal disajikan sebagai berikut:

$$X_t = \bar{x} + K_t S \quad 2.7$$

Dimana:

- $X_t$  = Curah hujan periode ulang (mm/hari)  
 $\bar{x}$  = Nilai hujan maksimum rata-rata (mm/hari)  
 $K_t$  = Faktor frekuensi (nilai variabel reduksi gauss)  
 $S$  = Standar deviasi.

Nilai faktor reduksi gauss yang didapat untuk mempertimbangkan nilai variabel yang disajikan pada tabel berikut.

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
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	-0.250
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	1.620
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	1.000.000	0,001	3.090

Sumber: Suripin, 2004

### 2.3.2.2 Distribusi Log Normal

Metode distribusi log normal hampir sama dengan metode distribusi normal, perbedaanya terletak pada penggunaan nilai logaritma.

$$\text{Log}X_T = \overline{\text{Log}X} + K_T S \quad 2.8$$

Dimana:

X = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan

S = Nilai rata-rata hitung variat

$K_T$  = Faktor reduksi gauss

### 2.3.2.3 Distribusi Log Person III

Perhitungan hujan periode ulang dengan menggunakan metode log person III ini menggunakan nilai logaritma. Perhitungannya dipengaruhi oleh nilai k untuk distribusi log person III, seperti yang tersaji dalam Table 2.2 (Suripin, 2004). Distribusi Log Person III dapat dikonversikan menjadi bentuk logaritma sebagai berikut:

$$Y = \text{Log}X \quad 2.9$$

$$\text{Log}X_T = \text{Log}X + K_T S \quad 2.10$$

Dimana:

$X_T$  = Hujan maksimum dimana periode ulang tahunan

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

$S$  = Deviasi standar nilai variat

$K_T$  = Frekuensi factor

Nilai frekuensi faktor untuk metode Log Person III disajikan pada Tabel 2.5 (Suripin, 2004).

Tabel 2.5 Nilai K untuk Distribusi Log Person 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	1,264	2,240	2,970	3,705
6	2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	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

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
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	2,471
16	0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
17	-,02	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	0,132	0,856	1,389	1,448	1,733
21	-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
22	-1,2	0,195	0,844	1,068	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	1,1297	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	1,990
27	-2,2	0,333	0,725	0,884	0,888	0,900	1,950
28	-2,4	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
29	-2,6	0,368	0,969	0,747	0,74	1,768	0,769
30	-2,8	0,384	0384	0,666	0,711	0,712	0,714
31	-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

Sumber: Suripin, 2004

Besarnya derajat sebaran varian di sekitar nilai rata-ratanya disebut dengan variasi disperse. Cara mengukur besarnya variasi atau disperse disebut dengan pengukuran variabilitas atau pengukuran disperse. Beberapa macam cara dalam pengukuran disperse diantaranya:

1. Rata-rata

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

2. Deviasi Standar

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

## 3. Koefisien Variasi

$$Cv = \frac{s}{x} \quad 2.13$$

4. Koefisien *Skewness*

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)} \quad 2.14$$

## 5. Koefisien Kurtosis

$$Ck = \frac{n^2 \sum (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad 2.15$$

**2.3.2.4 Distribusi Gumbel**

Perhitungan hujan periode ulang dengan metode distribusi gumbel dipengaruhi oleh beberapa variabel diantaranya adalah *reduced variable*, *reduced mean*, *reduced standard deviation*. Hubungan antar  $N$  dan  $Y_n/S_n$  disajikan dalam Tabel 2.6, Tabel 2.7, dan hubungan periode ulang juga *reduced variate* disajikan pada Table 2.8 (Suripin, 2004).

Distribusi gumbel ini biasanya menggunakan harga ekstrim untuk digunakan analisa data maksimum. Berikut persamaanya distribusi gumbel.

$$X_t = \bar{x} + \frac{(Y_t - Y_n)}{S_n} S \quad 2.16$$

Dimana:

$X_t$  = Curah hujan periode ulang (mm/hari)

$\bar{x}$  = Nilai hujan maksimum rata-rata(mm)

$S$  = Simpangan baku

$Y_t$  = *Reduced variable*

$Y_n$  = *Reduced mean*

$S_n$  = *Reduced standard deviation*

Tabel 2.6 *Reduced Standard Deviation (Sn)*

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,949	0,937	0,988	0,997	1,009	1,020	1,103	1,041	1,049	1,036
20	1,062	1,069	1,073	1,081	1,086	1,091	1,096	1,100	1,104	1,108
30	1,112	1,113	1,119	1,122	1,125	1,128	1,131	1,133	1,136	1,138
40	1,141	1,143	1,145	1,148	1,149	1,157	1,153	1,155	1,137	1,139
50	1,160	1,162	1,163	1,163	1,166	1,168	1,169	1,170	1,172	1,173

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	1,174	1,175	1,117	1,177	1,179	1,180	1,184	1,182	1,183	1,184
70	1,185	1,186	1,186	1,187	1,189	1,190	1,196	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	1,207	1,208	1,208	1,208	1,209	1,209	1,209

Sumber: Suripin, 2004

Tabel 2.7 *Reduced Mean* ( $Y_n$ )

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,495	0,499	0,503	0,507	0,510	0,510	0,513	0,520	0,522	0,552
20	0,523	0,523	0,526	0,528	0,530	0,530	0,532	0,533	0,535	0,535
30	0,536	0,537	0,538	0,538	0,540	0,540	0,541	0,541	0,543	0,543
40	0,543	0,544	0,544	0,545	0,546	0,546	0,546	0,547	0,548	0,548
50	0,546	0,549	0,549	0,549	0,550	0,550	0,550	0,551	0,551	0,551
60	0,532	0,552	0,552	0,553	0,553	0,553	0,553	0,554	0,554	0,554
70	0,534	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,556	0,556	0,556
80	0,536	0,557	0,557	0,557	0,557	0,558	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 2.8 *Reduced Variate* ( $Y_t$ ), sebagai Fungsi Periode Ulang

No	Periode Ulang, $T_r$ (Tahun)	Reduced Variate, $Y_{Tr}$
1	2	0,3668
2	5	1,5004
3	10	2,251
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

Sumber: Suripin, 2004

Parameter-parameter statistik yang digunakan, sebagai berikut:

- a. Rata-rata

Parameter yang digunakan adalah (Suripin, 2004):

$$\text{Log}\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}x_i}{n} \quad 2.17$$

b. Standar Deviasi

Parameter Standar Deviasi digunakan adalah (Soewarno, 1995):

$$S = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}x_i - \text{Log}\bar{x})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad 2.18$$

c. Koefisien Skewness (Koefisien Kepencengan)

Kepencengan (skewness) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi (Soewarno, 1995). Berikut parameter yang dapat digunakan untuk mendapatkan koefisien skewness:

$$G = C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad 2.19$$

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	Jenis Distribusi	Syarat
1	Normal	Cs = 0
		Ck = 3
2	Log-Normal	Cs = Cv <sup>3</sup> + 3Cv
		Ck = Cv <sup>8</sup> + 6Cv <sup>6</sup> + 15Cv <sup>4</sup> + 16Cv <sup>2</sup> + 3
3	Gumbel	Cs = 1.14
		Ck = 5.4
4	Log Person III	Selain nilai di atas

Sumber: Suripin, 2004

### 2.3.3 Uji Kecocokan

Analisa uji kecocokan dilakukan dengan tujuan untuk pengujian kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat memberi gambaran distribusi frekuensi tersebut. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam uji kecocokan diantaranya adalah uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018).

### 2.3.3.1 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).

$$Xh^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad 2.20$$

Dengan:

$X^2$  = Parameter Chi-Kuadrat

$n$  = Jumlah sub kelompok

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

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

Parameter  $Xh^2$  merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai  $Xh^2$  sama atau lebih besar 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	0,000016	0,000098	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,789
2	0,01	0,201	0,051	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	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,448	30,578	32,801

Dk	$\alpha$ (Derajat Kepercayaan)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
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	6,625	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	43,733	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, setiap 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  $(O_i - E_i)^2 / E_i$ .
6. Jumlah seluruh G sub-kelompok  $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$  nilai untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat hitung.
7. Tentukan derajat kebebasan  $Dk = K - (p + 1)$ .

### 2.3.3.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov atau dikenal juga dengan uji kecocokan non-parametrik, hal itu disebabkan pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur pelaksanaan uji kecocokan dengan metode Smirnov-Kolmogorov adalah sebagai berikut.

## 1. Pengurutan Data

Pengurutan data dimulai dari yang terbesar yang ke data terkecil atau sebaliknya. Dan tentukan besar peluang dari setiap data.

$$X_1 = p(X_1)$$

$$X_2 = p(X_2)$$

$$X_3 = p(X_3), \text{ dan seterusnya}$$

## 2. Pengurutan Nilai

Pengurutan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).

$$X_1 = p'(X_1)$$

$$X_2 = p'(X_2)$$

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

## 3. Dari kedua peluang tersebut, tentukan selisih tersebarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

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

4. Berdasarkan tabel nilai kritis uji Smirnov-kolmogorov, tentukan harga  $d_0$  dari Tabel 2.11.Tabel 2.11 Nilai Kritis  $D_0$  untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

n	Level of Significance ( $\alpha$ )				
	20	15	10	5	1
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,829
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,734
5	0,446	0,474	0,510	0,563	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,446	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,409	0,486
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	2,740	0,295	0,328	0,391
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,380

n	Level of Significance ( $\alpha$ )				
	20	15	10	5	1
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,370
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,361
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,352

Sumber: Suripin, 2004

### 2.3.4 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan besarnya jumlah hujan yang turun yang dinyatakan dalam tinggi curah hujan atau volume hujan per satuan waktu. Intensitas hujan memiliki besaran yang berbeda, tergantung pada lamanya curah hujan dan frekuensi terjadinya hujan.

Hubungan antara intensitas lama hujan dengan frekuensi hujan dinyatakan dalam Lengkung Intensitas – Durasi – Frekuensi (IDF=*Intensity, Duration, Frequency Curve*). Intensitas hujan menyatakan besaran curah hujan dalam jangka waktu yang pendek misalnya periode 5 menit, 10 menit, 30 menit, dan 60 menit. Data hujan jenis ini hanya dapat diperoleh dari stasiun hujan otomatis. Berdasarkan data hujan jangka pendek tersebut, terdapat beberapa persamaan yang dapat digunakan dalam pembuatan lengkung IDF.

#### 2.3.4.1 Rumus Talbot

Rumus Talbot sering digunakan karena penerapan yang mudah serta tetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang telah terukur.

$$I = \frac{a}{t+b} \quad 2.21$$

Dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lama terjadinya hujan (jam)

a, b = Konstanta yang bergantung pada lama terjadinya hujan

#### 2.3.4.2 Rumus Sherman

Rumus ini dikenalkan oleh Dr. Sherman pada tahun 1905. Rumus Sherman cocok digunakan untuk perhitungan intensitas hujan dengan lama terjadinya hujan lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{t^n} \quad 2.22$$

Dimana:

- I = Intensitas hujan (mm/jam)  
 t = Lama terjadinya hujan (jam)  
 n = Konstanta

#### 2.3.4.3 Rumus Ishiguro

Rumus ini dikenalkan oleh Dr. Ishiguro pada tahun 1953.

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \quad 2.23$$

Dimana:

- I = Intensitas hujan (mm/jam)  
 t = Lama terjadinya hujan (jam)  
 a, b = Konstanta yang bergantung pada lama terjadinya hujan

#### 2.3.4.4 Rumus Mononobe

Rumus mononobe merupakan variasi dari rumus lain. Perhitungan intensitas hujan dengan metode Mononobe dapat dilakukan apabila tidak tersedia data hujan jangka pendek, yang ada hanya data hujan harian. Dalam perhitungan curah hujan, rumus mononobe adalah sebagai berikut.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad 2.24$$

Dimana:

- I = Intensitas hujan (mm/jam)  
 $R_{24}$  = Hujan maksimum harian (selama 24 jam) (mm)  
 t = Lama terjadinya hujan (jam)

### 2.4 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 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, tata guna lahan dan data hujan. Standar yang telah ditetapkan baik debit rencana dan cara analisis yang dipakai, tinggi jagaan, struktur saluran dapat dipakai dalam perencanaan saluran drainase (Dinisari, 2009). Standar desain untuk saluran drainase disajikan pada Tabel 2.12 (Suripin, 2004).

Tabel 2.12 Standar Desain Sakuran Drainase

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

Sumber: Suripin, 2004

Besarnya debit rencana drainase perkotaan umumnya dihitung dengan metode rasional. Hal ini karena daerah aliran tidak terlalu luas, kehilangan air sedikit dan waktu genangan relatif pendek. Metode rasional ini sangat mudah digunakan namun terbatas pada DTA dengan ukuran kecil tidak lebih dari 500 ha (Juliyanti, 2020).

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad 2.25$$

Dimana:

Q = Debit Rencana ( $m^3/det$ );

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

I = Intensitas curah hujan ( $mm/jam$ );

A = Luas DAS (ha)

#### 2.4.1 Koefisien Limpasan (*Runoff*)

Koefisien limpasan (*runoff*) pada drainase perkotaan dipengaruhi oleh daerah kedap air yang dirumuskan pada persamaan berikut.

$$C = 0,91I_m + (1 - I_m)C_p \quad 2.26$$

$$I_m = \frac{A_{kedap\ air}}{A_{total}} \quad 2.27$$

Dimana:

$C_p$  = Koefisien limpasan untuk daerah tidak kedap air;

$I_m$  = Rasio kedap air

Tabel nilai koefisien limpasan dan rasio kedap air disajikan pada Tabel 2.13 (Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2016).

Tabel 2.13 Koefisien *Runoff* dan Presentase Kedap Air Tata Guna Lahan

Tata Guna Lahan	Karakteristik	C	I <sub>m</sub> (%)	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	
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

Nilai C komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_k = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n}{A_{total}} \quad 2.28$$

Tata guna lahan dan kondisi permukaan lahan juga bisa menjadi perkiraan dalam menentukan nilai koefisien limpasan. Tabel nilai koefisien limpasan tata guna lahan disajikan pada Tabel 2.8 dan nilai koefisien limpasan berdasarkan kondisi permukaan disajikan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.14 Nilai Koefisien Limpasan Tata Guna Lahan

Karakteristik Tanah	Tata Guna Lahan	Koefisien Limpasan I
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 Berdasarkan Kondisi Permukaan

Jenis Daerah	Koef Aliran	Kondisi Permukaan	Koef Aliran
Daerah Perdagangan Kota Sekitar Kota	0,75-0,95	Jalan Aspal	0,75-0,95
		Aspal dan Beton	
	0,50-0,70	Batu bata dan Batako	0,70-0,85
Daerah Permukiman Satu Rumah Banyak rumah, terpisah Banyak rumah, rapat Permukiman, pinggiran kota	0,30-0,50	Atap rumah	0,70-0,95
		Halaman berumput, tanah pasir	0,05-0,10
	0,40-0,60	Datar, 20%	
	0,60-0,75	Rata-rata, 2-7%	
	0,25-0,40	Curam, 7% atau lebih	0,15-0,20
Apartemen	0,50-0,70		
Lahan tidak terpelihara	0,10-0,30		

Sumber: Schwab, et. Al 1981, Arsyad 2006 dalam SNI 2415-2016

#### 2.4.2 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi hujan merupakan waktu yang dibutuhkan air hujan untuk mengalir dari titik paling jauh daerah aliran sungai (DAS) sampai ke titik *outlet* DAS. Waktu konsentrasi dibagi atas 2 bagian:

- a. *Inlet time* (to) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di atas permukaan tanah menuju saluran drainase.

- b. *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:

$$t_c = t_o + t_d \quad 2.29$$

Dengan parameter yang digunakan:

$$t_o = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right) \quad 2.30$$

$$t_d = \frac{L_s}{60v} \quad 2.31$$

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 rata-rata 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

Kemiringan Rata-rata (%)	Kecepatan Rata-rata (m/det)
< 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

### 2.4.3 Intensitas Hujan

Laju infiltrasi sangat bergantung pada pengaruh intensitas hujan terhadap limpasan permukaan. Apabila intensitas hujan lebih tinggi dari laju infiltrasi, maka limpasan permukaan akan sejalan dengan meningkatnya intensitas curah hujan. Tapi, peningkatan limpasan permukaan tidak selalu sebanding dengan

meningkatnya intensitas hujan yang disebabkan genangan air di permukaan tanah. Intensitas hujan memiliki pengaruh terhadap debit maupun volume limpasan (Suripin, 2004).

#### 2.4.4 Luas Daerah Pengaliran

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

#### 2.5 Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika merupakan analisis lanjutan dari analisis hidrologi yang dijadikan sebagai *input* penentu besaran dimensi saluran drainase berdasarkan debit banjir rencana. Dimensi saluran nantinya digunakan untuk mengetahui debit kapasitas pada saluran eksisting maupun saluran yang akan direncanakan. Aliran yang terjadi di tiap saluran belum tentu sesuai dengan perencanaan. Namun pada awal perencanaan, dapat diasumsikan terjadi aliran seragam. Rumus *Manning* dapat digunakan pada tahapan perencanaan aliran seragam (Pania et al., 2013).

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{0,5} \quad 2.32$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{0,5} \quad 2.33$$

Dimana:

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

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

$A$  = Luas penampang basah (m<sup>2</sup>)

$B$  = Lebar dasar saluran (m)

$h$  = Ketinggian saluran (m)

$P$  = Keliling penampang basah (m)

$n$  = Koefisien kekasaran manning

$R$  = Jari-jari hidrolis (m)

$S$  = Kemiringan dasar saluran

Tabel 2.17 Harga Koefisien *Manning* ( $n$ ) untuk Berbagai Tipe Saluran

No	Tipe Saluran	Kondisi		
		Baik	Cukup	Buruk
	Saluran Buatan:			

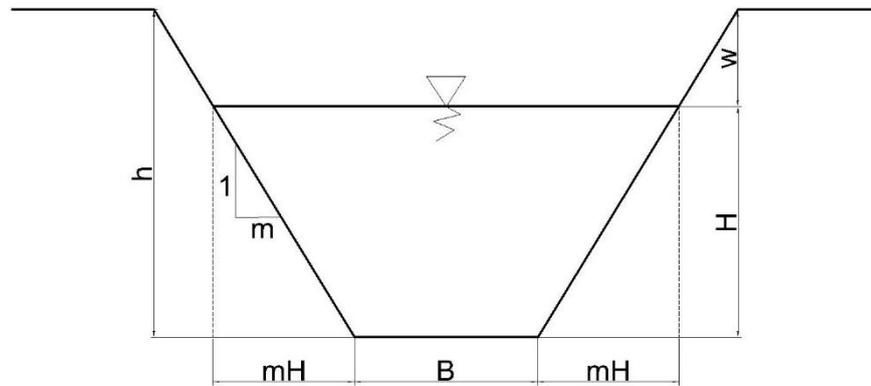
No	Tipe Saluran	Kondisi		
		Baik	Cukup	Buruk
1	Saluran tanah, lurus beraturan.	0,020	0,023	0,025
2	Saluran tanah, digali biasa	0,028	0,030	0,040
3	Saluran batuan, tidak lurus dan tidak beraturan	0,040	0,045	0,050
4	Saluran dari pasangan batu tanpa plengsengan	0,020	0,023	0,025
5	Saluran dari pasangan batu dengan plengsengan	0,013	0,014	0,015
6	Saluran batuan, lurus beraturan	0,030	0,033	0,035
7	Saluran batuan, vegetasi pada sisinya	0,030	0,035	0,040
8	Dasar tanah, sisi batu koral	0,030	0,030	0,040
9	Saluran berliku-liku kecepatan rendah.	0,025	0,028	0,030
<b>Saluran Alami:</b>				
1	Bersih, lurus, tapi tanpa pasir dan tanpa celah	0,028	0,030	0,033
2	Bersih, lurus, tapi tanpa pasir, tanpa celah, vegetasi dan kerikil	0,033	0,035	0,040
3	Berliku, bersih, tapi berpasir dan berlubang	0,035	0,040	0,045
4	Berliku, bersih, tapi berpasir, berlubang, dangkal, dan tak teratur	0,045	0,050	0,055
5	Berliku, bersih, tapi berpasir, berlubang, batuan dan vegetasi	0,040	0,045	0,050
6	Aliran lambat, banyak tanaman dan lubang	0,050	0,055	0,060
7	Tumbuhan tinggi dan padat	0,060	0,070	0,080
8	Dengan rumput	0,100	0,125	0,150
<b>Saluran Dilapisi:</b>				
1	Batu kosong tanpa adukan semen	0,030	0,033	0,035
2	Batu kosong dengan adukan semen	0,020	0,025	0,030
3	Beton	0,015	0,016	0,017
4	Dengan beton pratekan	0,016	0,019	0,021
5	Lapisan beton sangat halus	0,011	0,012	0,013
6	Lapisan beton biasa tanpa tulangan baja	0,014	0,014	0,015
7	Lapisan beton biasa dengan tulangan baja	0,016	0,016	0,018

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum

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)

$$\text{Luas (A)} = (B + mh)h \quad 2.34$$

$$\text{Keliling basah (P)} = B + 2h\sqrt{1 + m^2} \quad 2.35$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (r)} = \frac{(B + mh)h}{B + 2h\sqrt{1 + m^2}} \quad 2.36$$

$$\text{Lebar puncak (T)} = B + 2mH \quad 2.37$$

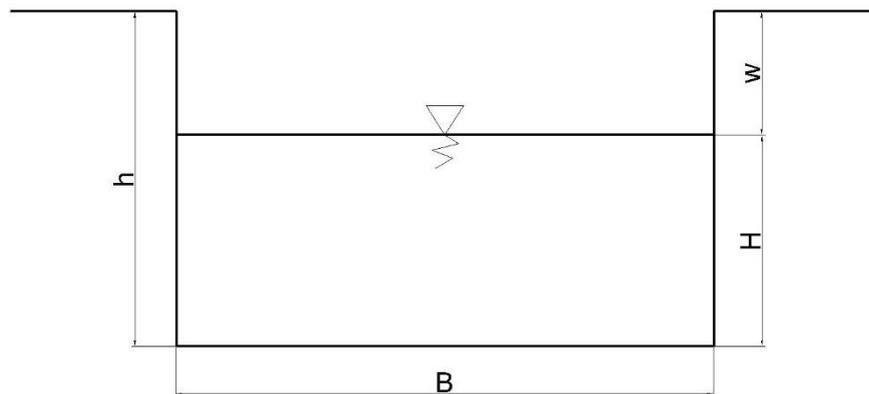
$$\text{Faktor penampang (z)} = \frac{(B + mh)h^{1,5}}{\sqrt{B + 2mh}} \quad 2.38$$

$$\text{Tinggi jagaan (w)} = \sqrt{0,5 \times h} \quad 2.39$$

$$\text{Tinggi saluran (H)} = H + w \quad 2.40$$

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)

$$\text{Luas (A)} = B \times h \quad 2.41$$

$$\text{Keliling basah (P)} = B + 2h \quad 2.42$$

$$\text{Jari-jari hidrolis} = \frac{A}{P} \quad 2.43$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad 2.44$$

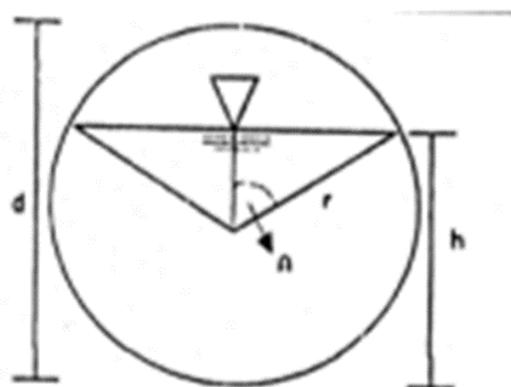
$$\text{Debit aliran (Q)} = A \times v \quad 2.45$$

$$\text{Tinggi jagaan (w)} = \sqrt{0,5 \times h} \quad 2.46$$

$$\text{Tinggi saluran (H)} = H + w \quad 2.47$$

## c. Lingkaran

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

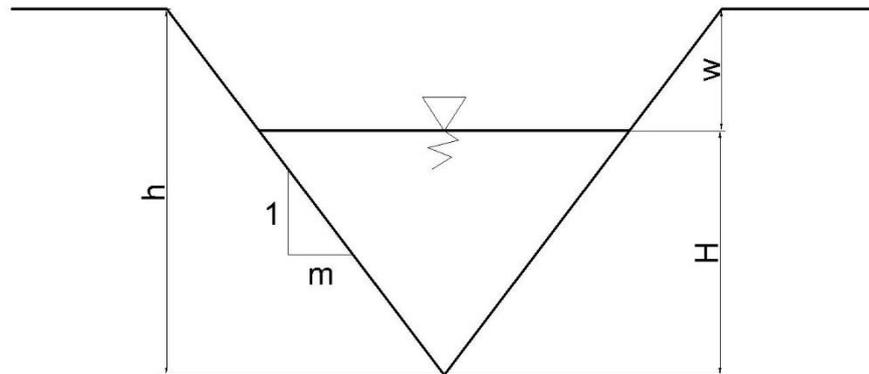


Gambar 2.6 Penampang Saluran Persegi

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)

$$\text{Luas penampang basah (A)} = m \times h^2 \quad 2.48$$

$$\text{Keliling basah (P)} = mh\sqrt{1 + m^2} \quad 2.49$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (r)} = \frac{mh}{2\sqrt{1 + m^2}} \quad 2.50$$

$$\text{Tinggi jagaan (w)} = \sqrt{0,5 \times h} \quad 2.51$$

$$\text{Tinggi saluran (H)} = H + w \quad 2.52$$

### 2.5.1 Kapasitas Saluran

Perhitungan yang dipakai dalam menghitung kapasitas saluran drainase adalah menggunakan rumus manning (Suripin, 2004).

$$Q = v \times A \quad 2.53$$

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad 2.54$$

Dengan:

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

### 2.5.2 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. Kecepatan yang diizinkan sesuai dengan jenis materialnya di sajikan pada Tabel 2.18 dan kemiringan rata-rata saluran terhadap kecepatan rata-rata pada Tabel 2.19 (Suripin, 2004).

Tabel 2.18 Kecepatan yang Diijinkan Sesuai dengan Jenis Material

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: Dr. Ir. Suripin, 2020

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

No.	Kemiringan Rata-rata (%)	Kecepatan Rata-rata (m/det)
1	< 1	0,4
2	1 sampai < 2	0,6
3	2 sampai < 4	0,9
4	4 sampai < 6	1,2
5	6 sampai < 10	1,5
6	10 sampai < 15	2,4

Sumber: Hasmar, 2011

Perhitungan kecepatan aliran pada aliran terbuka menggunakan rumus sebagai berikut (Fernanda, 2017):

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad 2.55$$

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 Komponen dan Parameter EPA SWMM 5.1

Debit banjir dalam penelitian ini dihitung menggunakan *software* EPA SWMM (*Enviromental Protection Agency Storm Water Management Model*) Versi 5.1. EPA SWMM merupakan sebuah sistem *software* yang didesain untuk membuat model simulasi hujan-*runoff*. *Software* ini mampu mensimulasikan pengaruh hujan-*runoff* dari suatu wilayah pada sistem drainasenya untuk jangka pendek maupun jangka panjang, sekaligus memiliki fasilitas alternatif untuk mengantisipasi masalah banjir (Rosdiana, 2011).

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

### 1. *Rain Gage*

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:

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

### 2. *Subcatchment*

*Subcatchment* adalah luasan yang menerima hujan dan mengalami infiltrasi atau mengubahnya menjadi limpasan (Rossman, 2015). Parameter yang di-*input*-kan dalam *subcatchment* adalah sebagai berikut:

- a. Luas (*area*) : Luas *subcatchment*.

- b. Lebar (*width*) :Panjang aliran.
- c. Kemiringan (% *slope*) :Persentase kemiringan *subcatchment*.
- d. % kedap air (% *impervious*) :Persentase area tanah yang *impervious*.
- e. Manning kedap air (*N-Imperv*) :Nilai n manning untuk aliran permukaan di daerah *impervious*.
- f. Manning tidak kedap air (*N-Perv*) :Nilai n manning untuk aliran permukaan di daerah *pervious*.
- g. Kedap air absolut (% *Zero-Imperv*) :Persentase dari *impervious area* tanpa *depression storage*.
- h. *Infiltration Model* :Pilihan untuk metode perhitungan infiltrasi dan parameternya.
- i. *Rain Gage* :Berkaitan dengan *subcatchment*.
- j. *Outlet* :Menerima *runoff subcatchment*.

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

$$D_1 = D_t + R_t \quad 2.56$$

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 Horton sebagai berikut:

$$D_1 = D_t + R_t \quad 2.57$$

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* (l/det)

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

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad 2.58$$

$$Q = \frac{1}{n} A \cdot R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

2.59

Keterangan:

$v$  = Kecepatan (m/det)

$n$  = 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, Tabel 2.21, dan Tabel 2.22 disajikan sebagai berikut: (*SWMM User's Manual Book*, 2010 dalam Tamimi, 2015)

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 texture biasa ke texture 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>swelling</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	<i>Curve Number</i> 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
Impervious Area Jalan, atap, area parker Aspal/beton Bebatuan Tanah		98	98	98	89
		98	98	98	98
		76	85	89	91
		72	82	87	89
Daerah Perkotaan Kawasan bisnis/komersil 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 dalam Tamimi, 2016

Laju infiltrasi mempunyai klasifikasi tertentu dalam penentuan besarnya laju infiltrasi.

Tabel 2.22 Klarifikasi Besarnya Laju Infiltrasi

Kelas	Klasifikasi	Laju Infiltrasi (mm/jam)
0	Sangat Lambat	< 1
1	Lambat	1 – 5

Kelas	Klasifikasi	Laju Infiltrasi (mm/jam)
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 dalam Tamimi, 2016

### 3. *Junction Node*

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

- *Node Invert*
- *Node Max Depth*
- *Node Pounded Area*
- *Conduit Length*
- *Conduit Geometry*
- *Conduit Roughness*
- *Flow Units*
- *Link Offset*
- *Routing Method*

### 4. *Conduit Links*

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

- Bentuk saluran;
- Kedalaman maksimum saluran;
- Panjang saluran; angka kekasaran atau angka manning. Besarnya angka manning tergantung dari jenis bahan yang digunakan pada saluran.

### 5. *Outfalls*

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

- *Invert Elevation*

- *Tide Gate*
- *Fixed Stage*

## 2.7 Pengukuran Permeabilitas

Metode pengujian peresapan air yang telah banyak mengalami perkembangan. Terdapat tiga metode yang lazim digunakan untuk keperluan perencanaan pembangunan bendungan yaitu metode pengujian legeon, metode sumur pengujian dan metode pengujian pada lubang bor (Sosrodarsono, 1977).

Metode sumur uji merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan dalam pelaksanaan uji permeabilitas di lapangan, karena metode ini dapat digunakan pada lapisan yang terletak di atas permukaan air tanah atau pada lapisan yang dangkal di dekat permukaan tanah.

Koefisien permeabilitas ( $k$ ) dalam metode sumur uji dari lapisan yang diuji dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$k = \frac{Q}{2\pi H^3} \left( H \log e \left[ \left( \frac{H}{r} \right) + \sqrt{1 + \left( \frac{H}{r} \right)^2} \right] - \sqrt{r^2 + H^2 + r} \right) \quad 2.60$$

Dimana:

$k$  = Koefisien permeabilitas (cm/det)

$Q$  = Bebit konstan, air yang dituangkan ke dalam sumur uji (cm<sup>3</sup>/det)

$R$  = Radius / jari-jari sumur pengujian (cm)

$H$  = Kedalaman air dalam sumur pengujian (cm)

### 2.7.1 Pengujian di Lapangan

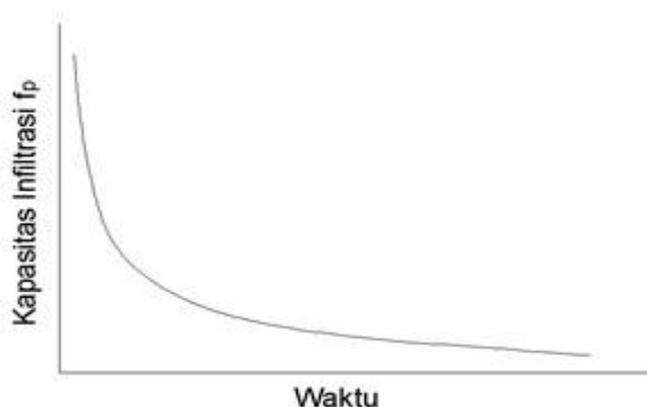
Dalam pengujian nilai permeabilitas di lapangan terdapat beberapa tahapan (Masykur, 2017), yaitu:

1. Penentuan titik pengambilan data didasarkan pada keadaan lingkungan yang memadai untuk proses penelitian.
2. Melakukan pembersihan lahan pada area yang akan dilakukan uji permeabilitas lapangan.
3. Membuat lubang sumur uji sedalam 1 m dengan diameter 20 cm sebanyak 5 lubang pada daerah sekitar pinggiran sumur gali warga menggunakan pipa diameter 2 inchi dengan panjang  $\pm 50$  cm.
4. Memasukan kerikil bersih pada lubang sumur uji.

5. Memasukkan air kedalam alat metode sumur uji sampai penuh dan rata dengan permukaan lubang uji sebagai acuan untuk mengukur tinggi tetap aliran air yang masuk kedalam lubang uji atau tinggi air yang dipertahankan.
6. Menghitung waktu pengaliran dengan menggunakan stopwatch untuk dengan mempertahankan air serta mengetahui waktu pengaliran kedalam lubang uji (t).
7. Menambahkan air ke dalam lubang uji dengan menggunakan gelas ukur untuk mengetahui volume air yang ditambahkan ke dalam lubang uji (Q).
8. Pemeriksaan dilakukan sebanyak lima kali setiap lubang uji, sehingga diperoleh nilai rata-rata.

### 2.7.2 Kapasitas Infiltrasi

Laju infiltrasi aktual ( $f_{ac}$ ) adalah laju air berpeneterasi ke permukaan tanah pada setiap waktu dengan gaya-gaya kombinasi gravitasi, viskositas dan kapilaritas. Laju maksimum presipitasi dapat diserap oleh tanah pada kondisi tertentu disebut kapasitas infiltrasi (Seyhan, 1977). Setiap permukaan air tanah mempunyai 10 daya serap yang kemampuannya berbeda-beda dilihat dari kondisi tanah dan lapisan penutup permukaannya. Kapasitas infiltrasi ini dinotasikan sebagai  $f$ . Faktor yang mempengaruhi kapasitas infiltrasi adalah ketinggian lapisan air di atas permukaan tanah, jenis tanah, banyaknya *moisture* tanah yang sudah ada dalam lapisan tanah, keadaan permukaan tanah, dan penutup tanah. Berikut adalah gambar kurva kapasitas infiltrasi.



Gambar 2.8 Kurva Kapasitas Infiltrasi

(Sumber : Aidatul. F, 2015)

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa pada penurunan air awal, cenderung lebih cepat karena pada kondisi awal tanah belum jenuh air, sedangkan semakin

mendekati infiltrasi konstan penurunannya semakin lambat bahkan konstan karena tanah sudah jenuh air.

### 2.7.3 Infiltrasi Metode Horton

Pengujian infiltrasi tanah dilakukan dengan Metode Horton. Menurut Horton kapasitas infiltrasi berkurang seiring dengan bertambahnya waktu hingga mendekati nilai yang konstan. Ia menyatakan pandangannya bahwa penurunan kapasitas infiltrasi lebih dikontrol oleh faktor yang beroperasi di permukaan tanah dibanding dengan proses aliran di dalam tanah. Faktor yang berperan untuk pengurangan laju infiltrasi seperti tutupan lahan, penutupan retakan tanah oleh koloid tanah dan pembentukan kerak tanah, penghancuran struktur permukaan lahan dan pengangkutan partikel halus dipermukaan tanah oleh tetesan air hujan. Kurva infiltrasi metode Horton terlihat pada Gambar 2.9. Model Horton dapat dinyatakan secara matematis mengikuti persamaan sebagai berikut.

$$f = f_c + (f_o - f_c) x e^{-kt} \quad 2.61$$

Dimana:

$f$  = Laju infiltrasi (cm/jam) atau (mm/jam)

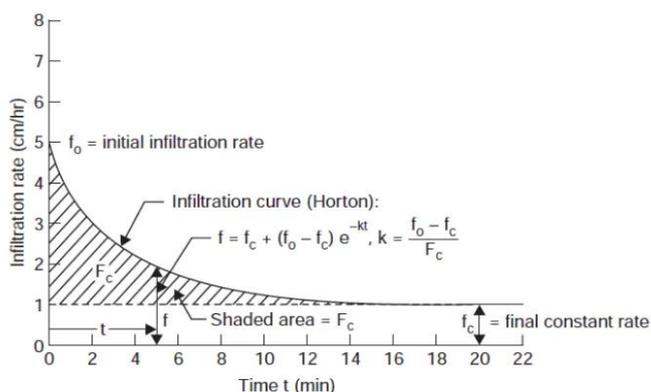
$f_o$  = Laju infiltrasi awal (cm/jam)

$f_c$  = Laju infiltrasi akhir (cm/jam)

$e$  = Bilangan dasar logaritma Naperian

$t$  = Waktu yang dihitung dari mulainya hujan (jam)

$k$  = konstanta untuk jenis tanah



Gambar 2.9 Kurva Infiltrasi Menurut Horton

(Sumber: Florence, 2015)

Jumlah air yang terinfiltrasi pada suatu periode tergantung pada laju infiltrasi dan fungsi waktu. Apabila laju infiltrasi pada suatu saat adalah  $f(t)$ , maka infiltrasi kumulatif atau jumlah air yang terinfiltrasi adalah  $F(t)$ . Persamaan 2.56 menunjukkan bahwa jumlah air yang terinfiltrasi  $F(t)$  merupakan integral dari laju infiltrasi. Laju infiltrasi merupakan turunan dari infiltrasi kumulatif  $F(t)$ . Dengan kata lain, laju infiltrasi  $f(t)$  adalah sama dengan kemiringan kurva  $F(t)$  pada waktu  $(t)$  dengan satuan mm/jam. Persamaan laju infiltrasi Horton diatas kemudian diintergralkan seperti pada persamaan berikut.

$$f = f \int_0^t + (f_0 - f_c) x e^{-kt} dt \quad 2.62$$

$$f = f_c.t + (f_0 - f_c)(1 - e^{-kt}) \quad 2.63$$

## 2.8 Sumur Resapan

Konsep sumur resapan pada dasarnya yaitu memberi kesempatan pada air yang jatuh pada atap atau permukaan lahan untuk diresapkan terlebih dahulu ke dalam tanah dengan cara menampung air tersebut di suatu sistem resapan (Suripin, 2004). Sumur resapan berupa sumur galian yang memiliki bentuk persegi atau lingkaran dengan kedalaman yang bervariasi diantaranya sumur resapan tipe dangkal dan menampung air hujan yang jatuh di atas permukaan.

Sumur resapan merupakan kebalikan dari sumur air untuk minum, dimana sumur resapan berfungsi untuk memasukan air permukaan sedangkan sumur air minum mempunyai fungsi untuk menaikkan air tanah ke permukaan. Dalam pembangunannya sumur resapan digali di atas permukaan air tanah, sedangkan sumur air minum digali lebih dalam di bawah muka air tanah.

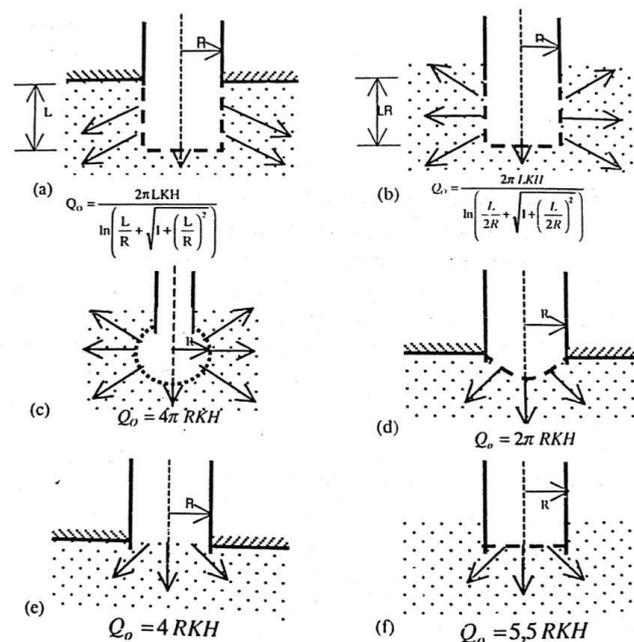
Dalam proses perencanaan pembangunan sumur resapan harus memperhatikan ukuran atau dimensi sumur yang diperlukan untuk suatu lahan atau kavling yang beruntung pada beberapa faktor, sebagai berikut:

1. Luas permukaan penutupan, yaitu lahan yang airnya akan ditampung dalam sumur resapan, meliputi luas atap, lapangan parkir, dan perkerasan lainnya.
2. Karakteristik hujan, meliputi intensitas hujan, lama hujan, selang waktu hujan. Yang artinya semakin tinggi hujan maka volume air hujan semakin besar sehingga sumur resapan memerlukan volume yang lebih besar.

Sementara selang waktu hujan yang besar dapat mengurangi volume sumur yang diperlukan.

3. Koefisien permeabilitas tanah, yaitu kemampuan tanah dalam melewatkan air per satuan waktu, dengan klasifikasi sebagai berikut (SNI, 2002) dalam jurnal (Noerhayati & Rachmawati, 2018).
  - a. Permeabilitas tanah sedang  
(geluh, kelanauan, 2,0 – 3,0 cm/jam atau 0,48 – 0,864 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari).
  - b. Permeabilitas tanah agak cepat  
(pasir halus, 3,6 – 36 cm/jam atau 0,864 – 8,64 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari).
  - c. Permeabilitas tanah cepat  
(pasir kasar, lebih besar 36 cm/jam atau 8,64 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari).
4. Tinggi air tanah, pada kondisi muka air tanah yang terdapat dalam sumur resapan perlu dibuat secara besar-besaran karena tanah memerlukan pengisian air melalui sumur resapan. Sedangkan pada lahan yang muka airnya dangkal, pembuatan sumur resapan kurang efektif terutama pada daerah pasang surut atau daerah rawa dimana air tanahnya sangat dangkal.

Beberapa metode untuk mendimensi sumur resapan diantaranya adalah sebagai berikut.



Gambar 2.10 Debit Resapan Sumur dengan Berbagai Kondisi

(Sumber: Suripin, 2004)

Perencanaan Sumur Resapan Metode Sunjoto (1998), dalam menghitung volume dan efisiensi sumur resapan dapat dihitung berdasarkan keseimbangan air yang masuk ke sumur resapan dan meresap ke dalam tanah (Sunjoto, 1998). Persamaanya adalah sebagai berikut.

$$H = \frac{Q}{F.K} \left(1 - e^{-\frac{F.K.T}{\pi.R^2}}\right) \quad 2.64$$

Faktor geometrik tergantung pada keadaan sebagaimana dilihat pada gambar dan secara umum dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$Q = F.K.H \quad 2.65$$

Keterangan:

H = Tinggi muka air dalam sumur (m)

F = Faktor geometrik (m)

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

T = Waktu pengaliran (detik)

K = Koefisien permeabilitas (m/det)

R = Jari-jari sumur (m)

Kedalaman sumur resapan yang efektif dihitung dari tinggi muka air tanah apabila dasar sumur berada di bawah muka air tanah, dan diukur dari dasar sumur bila muka air tanah di bawah dasar sumur.

### 2.8.1.1 Konstruksi Sumur Resapan

Berikut merupakan bahan dan konstruksi untuk sumur resapan menurut petunjuk teknis Tata Cara Penerapan Drainase Berwawasan Lingkungan di Kawasan Pemukiman tersaji dalam tabel berikut.

Tabel 2.23 Petunjuk Teknis Tata Cara Penerapan Sumur Resapan

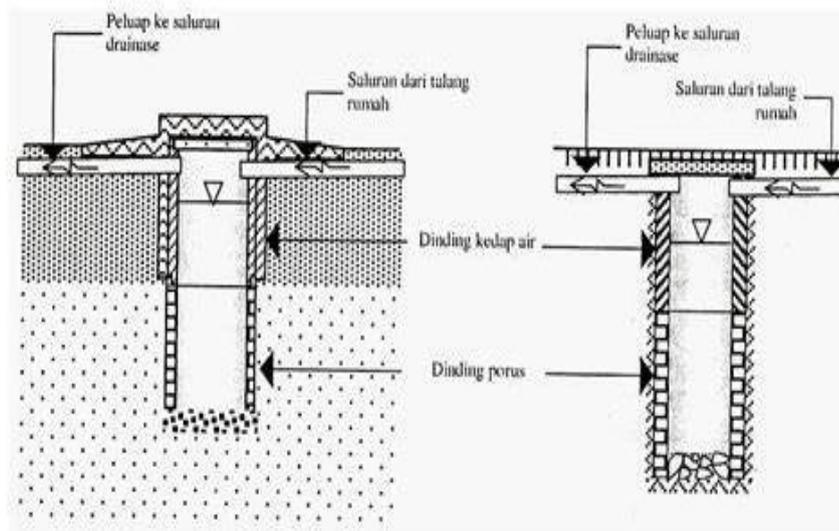
No.	Bahan Sumur Resapan Air Hujan	Komponen
1	Plat beton tidak bertulang tebal 10 cm, campuran 1 : 2 : 3 berbentuk cubung dan tidak diberi beban di atasnya	Penutup sumur
2	<i>Ferrocement</i> tebal 10 cm	Penutup sumur, dinding sumur bagian atas, dinding sumur bagian bawah
3	Pasangan ½ bata merah atau batako, campuran 1 : 4, diplester dan diaci semen	Dinding sumur bagian atas dan dinding sumur bagian bawah

No.	Bahan Sumur Resapan Air Hujan	Komponen
4	Pasangan ½ batako campuran 1 : 4, jarak kosong antar batako 10 cm, tanpa plester	Dinding sumur bagian atas dan dinding sumur bagian bawah
5	Beton bertulang pracetak Ø 80- 100 cm	Dinding sumur bagian atas dan dinding sumur bagian bawah
6	Beton bertulang pracetak Ø 100 cm, dinding porous	Dinding sumur bagian atas dan dinding sumur bagian bawah
7	Batu pecah ukuran 10 – 20 cm	Pengisi sumur
8	Pecahan bata merah ukuran 5 – 10 cm	Pengisi sumur
9	Ijuk	Pengisi sumur
10	Pipa PVC dan perlengkapannya Ø 110 mm	Saluran air hujan
11	Pipa beton Ø 200 mm	Saluran air hujan
12	Pipa beton ½ lingkaran, Ø 200 mm	Saluran air hujan

Sumber: Petunjuk Teknis Tata Cara Penerapan Drainase Berwawasan Lingkungan di Kawasan Permukiman, 2002.

Dalam merencanakan sumur resapan harus dibuat dengan konstruksi tahan terhadap tekanan tanah dalam keadaan tertentu. Berikut merupakan tipe dan konstruksi sumur resapan air hujan dan peruntukannya:

1. Tipe I, dengan dinding tanah. Tipe ini diterapkan pada kedalaman tanah 1,5 meter, untuk jenis tanah geluh kelanauan.
2. Tipe II, dengan dinding pasangan batako atau bata merah tanpa diplester, dan diantara pasangannya diberi lubang. Tipe ini diterapkan pada tanah kedalaman maksimum 3 meter, untuk semua jenis tanah.
3. Tipe III, dengan dinding buis beton porous/tidak porous dan pada ujung pertemuan sambungannya diberi celah lubang. Tipe ini diterapkan pada kedalaman maksimum sampai dengan permukaan air tanah, untuk jenis tanah berpasir.
4. Tipe IV, dengan buis beton berlubang.



Gambar 2.11 Konstruksi Sumur Resapan

(Sumber: Suripin, 2004)

### 2.8.1.2 Persyaratan Sumur Resapan

Persyaratan umum sumur resapan yang harus dipenuhi berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 2002) antara lain sebagai berikut:

1. Sumur resapan air hujan ditempatkan pada lahan yang relatif datar.
2. Air yang masuk ke dalam sumur resapan adalah air hujan tidak tercemar.
3. Penetapan sumur resapan air hujan harus mempertimbangkan keamanan bangunan sekitarnya.
4. Harus memperhatikan peraturan daerah setempat.
5. Hal-hal yang tidak memenuhi ketentuan harus disetujui instansi yang berwenang.

Persyaratan teknis yang harus dipenuhi:

1. Kedalaman air tanah minimum 1,5 meter pada musim hujan.
2. Struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai permeabilitas tanah  $\geq 2,0$  cm/jam. Artinya, genangan air setinggi 2 cm akan tetap habis dalam waktu 1 jam.
3. Jarak penempatan sumur resapan air hujan terhadap bangunan.

### 2.8.1.3 Jenis Sumur Resapan

Jenis sumur resapan terbagi menjadi 2 sebagai berikut:

1. Sumur Resapan Individu merupakan sumur resapan yang dibuat pada masing-masing rumah tinggal. Dampak sumur resapan akan maksimal jika masing-masing rumah ikut membuatnya. Peletakan sumur resapan dapat memanfaatkan lahan sisa maupun pekarangan yang ada.
2. Sumur Resapan Kolektif merupakan sumur yang dibangun apabila ketersediaan lahan di suatu pemukiman terbatas. Maka dari itu sumur resapan kolektif lebih efisien untuk dibangun di lahan yang terbatas. Untuk perencanaan sumur resapan kolektif sama dengan sumur resapan individu, dimana harus memperhatikan tata letak dan jarak supaya berfungsi dengan baik.

## 2.9 Kolam Retensi

Kolam Retensi adalah prasarana drainase yang berfungsi untuk menampung dan meresapkan air hujan di suatu wilayah (Karya, 2012). Berdasarkan kedua fungsi tersebut, kolam retensi menjadi alternatif unggulan dalam hal penanganan dan pengendalian banjir. Kolam retensi juga berfungsi untuk mengontrol parameter debit puncak dan waktu penuntasan, yaitu dengan memotong debit puncak banjir yang terjadi (Harmani & Soemantoro, 2017).

Volume tampungan dihitung berdasarkan hidrograf banjir yang masuk ke kolam. Perencanaan kapasitas kolam berdasarkan pada perhitungan debit banjir rencana yang masuk ke kolam dari saluran (*inlet*) dan debit rencana yang keluar (Florince et al., 2015). Berikut parameter yang digunakan:

$$a_2 = I_1 + I_2 + \beta_1 \quad 2.66$$

$$S = K \cdot O \quad 2.67$$

Keterangan:

S = Volume tampungan (m<sup>3</sup>/det)

I = Aliran masuk (m<sup>3</sup>/det)

O = Aliran keluar (m<sup>3</sup>/det)

K = Koefisien taampungan, perkiraan waktu perjalanan air dari saluran

t = Waktu penelusuran (detik, menit, jam)

Suatu kolam dilengkapi dengan bangunan pelimpah (*spillway*). Aliran melalui bangunan pelimpah tergantung pada lebar dan tinggi peluapan serta koefisien debit yang diberikan oleh persamaan berikut.

$$Q = C_d B H^{\frac{3}{2}} \quad 2.68$$

Keterangan:

Q = Debit aliran di pelimpah (m<sup>3</sup>/det)

C<sub>d</sub> = Koefisien debit = 1,7

B = Lebar bangunan pelimpah (m)

H = Tinggi peluapan (m)

### 2.10 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 (Supropto, 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 (Lutfhi & Roh, 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 5.1 untuk dilakukan simulasi ulang. Simulasi ulang dilakukan untuk mengetahui konsidi model jaringan drainase setelah perbaikan

dilakukan. Perbaikan saluran drainase dianggap berhasil apabila tidak ada saluran yang berwarna merah atau ungu pada jam pertama (Lutfhi & Roh, 2018).