

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Drainase**

Drainase berasal dari bahasa Inggris, yaitu *drainage* yang artinya 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 atau lahan sehingga fungsi kawasan atau lahan tidak terganggu (Suripin, 2004).

Sistem drainase perkotaan adalah satu kesatuan sistem teknis dan non teknis dari prasarana dan sarana drainase perkotaan, dimana prasarana drainase adalah lengkungan atau saluran air dipermukaan atau dibawah tanah, baik yang terbentuk secara alami maupun dibuat oleh manusia, yang berfungsi menyalurkan kelebihan air dari suatu kawasan ke badan air penerima. (Abda, 2021).

Bangunan pelengkap sistem drainase terdiri dari saluran penerima (*interceptor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran penerima (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*), dan badan air penerima (*receiving waters*). Di sepanjang sistem sering dijumpai bangunan lainnya, seperti gorong-gorong, shipon, jembatan air (*aqueduct*), pelimpah, pintu-pintu air, bangunan terjun, kolam tando, dan stasiun pompa (Suripin, 2004b)

##### **2.1.1 Peran Drainase**

Sistem drainase memiliki peranan yang sangat penting di dalam wilayah perkotaan, diantaranya sebagai berikut :

1. Meringankan genangan yang disebabkan oleh alir limpasan, sehingga tidak menimbulkan efek negatif terhadap masyarakat.
2. Mengalirkan air permukaan yang jatuh ke badan jalan dengan secepat-cepatnya.
3. Mengendalikan kelebihan air permukaan yang dapat digunakan untuk persediaan air dimusim kemarau.

Tabel 2.1 Derajat Curah Hujan dan Intensitas Curah Hujan

Derajat Curah Hujan	Intensitas Curah Hujan (mm/jam)	Kondisi
Hujan sangat lemah	> 1.20	Tanah agak basah atau basah sedikit
Hujan lemah	1.20 – 3.00	Tanah menjadi basah semuanya, tetapi sulit membuat puddle
Hujan normal	3.00 – 18.0	Dapat dibuat puddle dan bunyi hujan terdengar
Hujan deras	18.0 – 60.0	Air tergenang di seluruh permukaan tanah dan bunyi keras hujan terdengar berasal dari genangan
Hujan sangat deras	> 60.0	Hujan seperti ditumpahkan, sehingga saluran drainase meluap

Tabel 2.2 Periode Ulang Hujan Untuk Desain Saluran Drainase

No.	Jenis Kawasan	Saluran Primer	Saluran Sekunder	Saluran Tersier
1	Pemukiman : Kota Sedang	5 – 10 Tahun	2 – 5 Tahun	2 – 5 Tahun
	Kota Kecil	10 – 20 Tahun	2 – 5 Tahun	2 – 5 Tahun
2	Industri	2 – 5 Tahun	2 – 5 Tahun	2 – 5 Tahun
3	Perumahan	5 – 20 Tahun	2 – 5 Tahun	2 – 5 Tahun

### 2.1.2 Drainase Konvensional

Konsep drainase di Indonesia secara umum adalah konsep drainase konvensional yaitu upaya membuang limpasan air permukaan ke sungai terdekat dengan waktu yang cepat, konsep ini dibuat menyeluruh baik di perkotaan maupun pedesaan. Namun konsep ini memiliki dampak yang sangat buruk bila dilakukan secara terus menerus, karena air hujan diharuskan mengalir ke sungai-sungai terdekat, sehingga sungai tidak mampu menahan debit dari limpasan tersebut dan mengakibatkan banjir. Keadaan ini menurunkan kesempatan air untuk meresap ke dalam tanah dengan demikian cadangan air tanah akan berkurang dan terjadi

kekeringan di musim kemarau, dampak fenomena ini akan terus bergantian apabila konsep drainase konvensional masih diterapkan di wilayah Indonesia.

### **2.1.3 Drainase Berwawasan Lingkungan**

Konsep drainase berwawasan lingkungan atau disebut juga eko-drainase adalah sebuah konsep drainase baru yang dapat mengelola kelebihan air dengan cara meresapkan air permukaan ke dalam tanah secara alamiah ke sungai dengan tanpa melampaui kapasitas sungai sebelumnya. Kelebihan air dari musim hujan dapat dikelola untuk menjadi cadangan air tanah di musim kemarau. Beberapa metode drainase berwawasan lingkungan, yaitu :

1. Metode kolam retensi

Metode kolam retensi yaitu metode dengan membuat kolam-kolam baik di perkotaan maupun di pedesaan dengan memanfaatkan peta topografi, kolam retensi berguna untuk menampung air hujan terlebih dahulu dan sisanya dialirkan ke sungai secara perlahan. Kolam retensi juga dapat digunakan sebagai objek rekreasi bagi masyarakat sekitar.

2. Sumur resapan

Metode ini dibuat dengan cara membangun sumur untuk mengalirkan air hujan yang jatuh pada atap pertumahan atau kawasan tertentu. Konstruksi dan ke dalam sumur resapan disesuaikan dengan keadaan tanah sekitarnya, namun sesuai peruntukannya sumur resapan hanya menampung air hujan saja, bukan untuk limbah rumah tangga.

3. River side polder

Metode ini menahan air dengan cara mengelola/mengalirkan kelebihan air hujan di sepanjang bantaran sungai. Pembuatan polder ini dilakukan dengan cara mempelebar bantaran sungai dan dilakukan secara selektif di sepanjang sungai. Pada saat muka air naik (banjir) sebagian air akan mengalir ke polder dan akan keluar apabila banjir reda, sehingga banjir di hilir dapat dikurangi dan konservasi air tetap terjaga.

#### 4. Areal perlindungan air tanah (*Ground water protection area*)

Metode ini dilakukan dengan menetapkan kawasan lindung untuk air tanah (daerah resapan), dimana kawasan tersebut tidak boleh dibangun oleh bangunan apapun. Area tersebut dikhususkan untuk meresapkan air ke dalam tanah.

#### 2.1.4 Jenis-jenis drainase

Secara umum drainase dibagi menjadi 2 bagian, yaitu sebagai berikut:

##### 1. Drainase Alamiah (*Natural Drainage*)

Drainase yang dibuat oleh limpasan air yang terjadi secara terus menerus yang bergerak karena adanya gravitasi bumi dan seiring berjalannya waktu akan terbentuk jalan air yang permanen seperti sungai.

##### 2. Drainase Buatan (*Artificial Drainage*)

Drainase yang dibuat dengan maksud dan tujuan tertentu sehingga memerlukan bangunan pelengkap drainase seperti saluran penerima, saluran induk, dan badan air peneriman. Di sepanjang sistem sering dijumpai bangunan lainnya, seperti gorong-gorong, shipon, jembatan air, pelimpah, pintu-pintu air, bangunan terjun, kolam tando, dan stasiun pompa.

Drainase menurut perletakannya dibagi atas :

##### 1. Drainase Permukaan Tanah (*Surface Drainage*)

Saluran drainase yang berada diatas permukaan tanah yang berfungsi untuk mengalirkan air limpasan permukaan.

##### 2. Drainase Bawah Permukaan Tanah (*Subsurface Drainage*)

Saluran drainase yang berada di bawah permukaan yang berfungsi untuk mengalirkan air limpasan permukaan melalui sebuah media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa).

## 2.2 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi merupakan proses pengolahan data curah hujan, data luas data bentuk daerah pengalihan (*Catchment Area*), data kemiringan lahan atau beda tinggi, dan data tata guna lahan yang kesemuanya mempunyai arahan untuk mengetahui besarnya curah hujan rencana, sehingga melalui analisis ini dapat

dilakukan juga proses evaluasi terhadap saluran drainase yang ada (Eksisting) (Nusantara, 2020).

Komponen terpenting dalam menganalisis hidroligi pada suatu perencanaan debit untuk menentukan dimensi saluran drainase adalah hujan. Hujan bervariasi terhadap tempat (*space*), maka dari itu dalam suatu kawasan yang cakupannya sangat luas tidak bisa diwakili oleh satu titik pos pengukuran saja dan memerlukan titik pos lainnya. Hujan kawasan dapat diperoleh dari data-data curah hujan yang sudah direkap oleh pos pengukuran hujan yang berada di kawasan hujan tersebut (Suripin, 2004). Terdapat 3 cara dalam menentukan curah hujan rata-rata dari suatu Kawasan yaitu : metode rerata aritmatik, *polygon Thiessen*, dan *isohyet*.

### 2.2.1 Metode Rerata Arimatik

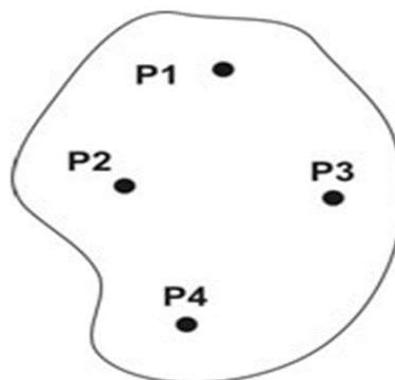
Metode aritmatik merupakan metode yang sederhana untuk menentukan hujan rerata dari suatu kawasan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara, namun dengan metode ini bisa tidak akurat jika rerata hujan bervariasi di setiap stasiun (Fauziyah et al., 2013). Hujan Kawasan diperoleh dengan persamaan berikut :

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

Keterangan:

$\bar{P}$  = Hujan rerata Kawasan

n = Jumlah stasiun



Gambar 2.1 Hujan Kawasan Metode Aritmatik

### 2.2.2 Metode Polygon Thiessen

Metode Polygon Thiessen atau juga disebut dengan metode rata-rata timbang (*weighted mean*). Cara ini juga dapat memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos stasiun hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar hujan terdekat. Metode ini bisa dilakukan ketika penyebaran stasiun hujan pada suatu daerah tertentu tidak seragam (Suripin, 2004). Berikut langkah-langkah untuk membuat polygon thiessen :

1. Lokasi stasiun hujan diplot di peta DAS yang akan ditinjau, kemudian, tarik garis lurus penghubung antar stasiun.
2. Tarik garis lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung dengan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan bentuk polygon Thiessen. Semua titik dalam satu polygon thiessen akan memiliki jarak terdekat dengan stasiun yang ada di dalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap stasiun lainnya. Curah hujan pada stasiun tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam polygon yang bersangkutan.
3. Luas dari area setiap polygon dapat diukur dan dikalikan dengan tinggi hujan di stasiun yang berada di dalam polygon, lalu setelah dijumlahkan dibagi dengan luas daerah yang ditinjau (Ajr & Dwirani, 2019).

Untuk mencari rata-rata Daerah Aliran Sungai(DAS), dapat menggunakan persamaan berikut :

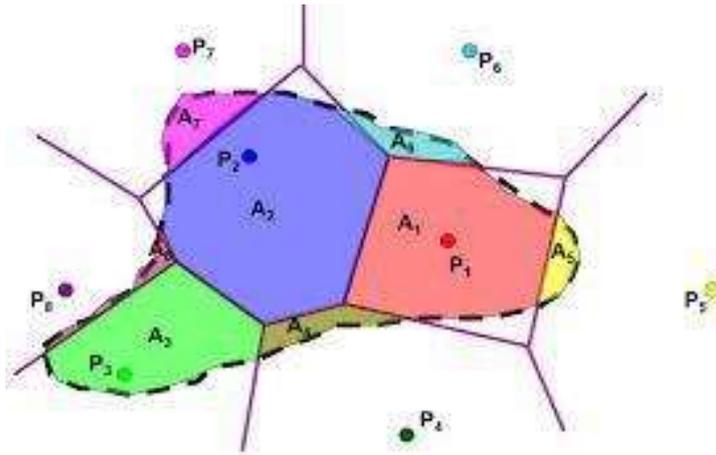
$$\bar{p} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$\bar{p}$  = Hujan rata-rata kawasan

$P_n$  = Hujan di stasiun 1,2,3,...,n

$A_n$  = Luas daerah yang mewakili stasiun 1,2,3,...,n



Gambar 2.2 Hujan Kawasan Metode Thiessen

### 2.2.3 Metode Isohyet

Dari beberapa metode diatas metode isohyet yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata, namun harus diiringi dengan keahlian dan juga pengalaman. Cara ini memperhitungkan secara actual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan (Fauziyah et al., 2013). Metode ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut :

1. Lokasi stasiun hujan dan tinggi hujan digambar pada peta DAS yang akan ditinjau.
2. Dari nilai tinggi hujan di stasiun yang berdampingan dibuat interpolasi sesuai pertambahan nilai yang ditetapkan.
3. Kurva dibuat menghubungkan titik-titik interpolasi yang memiliki hujan yang sama.
4. Luas daerah antara dua garis isohyet yang beruntutan diukur dan dikaitkan dengan nilai tinggi hujan rerata dari nilai kedua garis isohyet.
5. Jumlah perhitungan dari langkah 4 untuk seluruh garis isohyet dibagi dengan luas daerah yang ditinjau untuk mendapatkan tinggi hujan rerata didaerah tersebut.

Hujan rata-rata Daerah Aliran Sungai(DAS) dengan metode isohyet dapat dihitung dengan persamaan berikut :

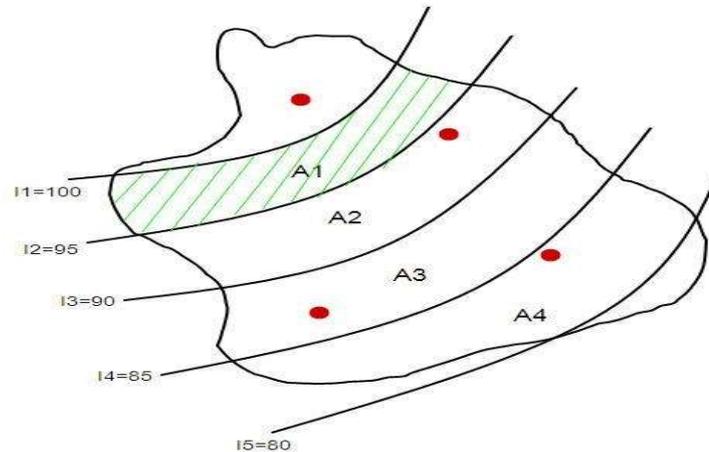
$$\bar{P} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + A_3 \frac{I_3 + I_4}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$\bar{P}$  = Hujan rata-rata Kawasan

$I_n$  = Hujan di stasiun 1,2,3,...,n

$A_n$  = Luas area dari titik I



Gambar 2.3 Hujan Kawasan Metode Isohyet

#### 2.2.4 Cara Memilih Metoda

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

Pertimbangan tiga faktor dapat dilihat pada Tabel 2.3, Tabel 2.4, dan Tabel 2.5 yang di sajikan (Suripin, 2004).

Tabel 2.3 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

Tabel 2.4 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

Tabel 2.5 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

### 2.3 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi merupakan suatu analisis data hidrologi dengan menggunakan statistika yang bertujuan untuk memprediksi besaran hujan atau debit dengan masa ulang tertentu. Analisis data hidrologi juga untuk mengetahui nilai dari besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi terjadinya melalui penerapan distribusi probabilitas dan variabel-variabel acak atau disebut metode statistik.

Dalam metode statistik ada beberapa parameter-parameter yang bisa membantu dalam menentukan sebaran yang terjadi. Berikut ada 4 parameter-parameter untuk menentukan besar pengukuran yaitu : pengukuran *central tendency*, pengukuran *variability*, pengukuran kemencengan (*skewness*), dan pengukuran keruncingan (*kurtosis*) (Fauziyah et al., 2013). Persamaan yang akan digunakan dalam Analisa frekuensi :

Nilai Rata-rata :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i \quad (2.4)$$

Deviasi Standar :

$$S = \left( \frac{1}{n-1} \sum \sum_{i=1}^1 (X_i - \bar{X})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.5)$$

Koefisien variasi :

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (2.6)$$

Koefisien skewness :

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \quad (2.7)$$

Koefisien kurtosis :

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (xi - x)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \quad (2.8)$$

Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi dan yang banyak digunakan dalam hidrologi, yaitu :

**a. Distribusi Normal**

Metode distribusi normal merupakan fungsi densitas peluang normal atau *probability density function (PDF)* atau distribusi gauss. Dalam distribusi normal banyak digunakan untuk menganalisis hidrologi distribusi normal banyak digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis ini menggunakan persamaan berikut ini:

$$X_T = \mu + K_T \sigma \quad (2.9)$$

$$X_T = \bar{X} + K_T S \quad (2.10)$$

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{S} \quad (2.11)$$

Keterangan :

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

$X_T$  = nilai rata-rata hitung variat

S = deviasi standar nilai variat

K = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

Tabel 2.6 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

No.	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	$K_T$
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

### b. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah varian  $X$  menjadi nilai logaritmik varian  $X$ . Distribusi Log Pearson Tipe III akan menjadi distribusi Log Normal apabila nilai koefisien kemencengan  $C_s = 0,00$ . Metode distribusi log normal dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut :

$$Y_T = \bar{Y} + K_T S \quad (2.12)$$

Keterangan:

$Y_T$  = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T tahunan

$\bar{Y}_T$  = nilai rata-rata hitung variat

S = standar deviasi nilai variat

$K_T$  = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang

$$\log X_T = \overline{\text{Log}x} + (K_T \times S_{\text{log}x}) \quad (2.13)$$

$$\text{atau } Y_T = \bar{Y} + (K_T \times S_Y) \quad (2.14)$$

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

$$\bar{Y} = \overline{\log x} = \frac{1}{n} \times \left( \sum \log x \right) \quad (2.16)$$

$$S_y = S_{\log} \sqrt{\frac{\sum (\log x_i - \overline{\log x})^2}{(n-1)}} \quad (2.17)$$

$$C_s = \frac{n \times \sum (\log x_i - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)(S_y)^2} \quad (2.18)$$

Keterangan:

$Y_T$  = hujan maksimum dimana periode ulang T tahunan

$\bar{Y}$  = curah hujan rata-rata dalam log x,

$K_T$  = faktor frekuensi

$S_y$  = standar deviasi

$C_s$  = koefisien skewness

### c. Distribusi Log Person III

Parameter penting dalam Log Pearson Tipe III yaitu nilai rata-rata, simpangan baku, dan koefisien kemencengan. Jika koefisien kemencengan sama dengan nol maka distribusi kembali ke distribusi Log Normal. Tidak seperti konsep yang melatar belakangi pemakaian distribusi normal untuk debit puncak, maka probabilitas distribusi Log Pearson III masih tetap dipakai karena fleksibilitasnya (Suripin, 2004). Fungsi kerapatan distribusi Log Pearson type III mempunyai persamaan sebagai berikut :

- Harga rata-rata

$$\overline{\log x} = \frac{1}{n} \times \left( \sum \log x \right) \quad (2.19)$$

- Standar deviasi

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\log x_i - \overline{\log x})^2}{(n-1)}} \quad (2.20)$$

- Koefisien skewness

$$C_s = \frac{n \times \sum (\log x_i - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)(s)^2} \quad (2.21)$$

- Koefisien kurtosis

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \quad (2.22)$$

Dimana K adalah variabel standar untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan atau *skewness*.

Tabel 2.7 Nilai KT Metode Log Person Tipe III

No.	Koefisien Skewnes	Periode Ulang (tahun)						
		2	5	10	20	25	50	100
1	3	-0.396	0.42	1.18	2.003	2.278	3.152	4.501
2	2.8	-0.384	0.46	1.21	2.009	2.275	3.114	3.973
3	2.6	-0.368	0.499	1.238	2.013	2.267	3.071	3.889
4	2.4	-0.351	0.537	1.262	2.011	2.256	3.023	3.8
5	2.2	-0.333	0.574	1.264	2.006	2.24	2.97	3.705
6	2	-0.307	0.609	1.302	1.996	2.219	2.912	3.605
7	1.8	-0.282	0.643	1.318	1.981	2.193	2.848	3.499
8	1.6	-0.254	0.675	1.329	1.962	2.163	2.78	3.388
9	1.4	-0.225	0.705	1.337	1.938	2.128	2.706	3.271
10	1.2	-0.195	0.732	1.34	1.91	2.087	2.626	3.149
11	1	-0.164	0.758	1.34	1.877	2.043	2.542	3.022
12	0.8	-0.132	0.78	1.336	1.839	1.993	2.453	2.891
13	0.6	-0.099	0.8	1.328	1.797	1.939	2.359	2.755
14	0.4	-0.066	0.816	1.317	1.75	1.88	2.261	2.615
15	0.2	-0.033	0.83	1.301	1.7	1.818	2.159	2.472
16	0	0	0.842	1.282	1.645	1.751	2.054	2.326
17	-0.2	0.033	0.85	1.258	1.586	1.68	1.945	2.178
18	-0.4	0.066	0.855	1.231	1.524	1.606	1.834	2.029
19	-0.6	0.099	0.857	1.2	1.458	1.528	1.72	1.88
20	-0.8	0.132	0.132	0.856	1.166	1.389	1.448	1.733
21	-1	0.164	0.852	1.128	1.317	1.366	1.492	1.588
22	-1.2	0.195	0.844	1.086	1.243	1.282	1.379	1.449
23	-1.4	0.225	0.832	1.041	1.168	1.198	1.27	1.318
24	-1.6	0.254	0.817	0.994	1.049	1.116	1.197	1.197
25	-1.8	0.282	0.799	0.945	1.019	1.035	1.069	1.087

No.	Koefisien Skewnes	Periode Ulang (tahun)						
		2	5	10	20	25	50	100
26	-2	0.307	0.777	0.895	0.949	0.959	0.98	0.99
27	-2.2	0.333	0.725	0.884	0.882	0.888	0.9	0.905
28	-2.4	0.351	0.725	0.795	0.819	0.823	0.83	0.832
29	-2.6	0.368	0.969	0.747	0.762	0.764	0.768	0.769
30	-2.8	0.384	0.384	0.666	0.702	0.711	0.712	0.714
31	-3.0	0.396	0.636	0.66	0.666	0.666	0.666	0.667

#### d. Distribusi Gumbel

Metode ini merupakan metode dari nilai-nilai ekstrim (maksimum atau minimum) umumnya digunakan untuk menganalisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir.

Fungsi metode gumbel merupakan fungsi eksponensial ganda. Menurut Chow (1964) dalam Machairiyah (2007), rumus umum yang digunakan dalam metode Gumbel adalah sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + (K_T \times S_x) \quad (2.23)$$

$$K_T = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \quad (2.24)$$

$$Y_T = -1 \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (2.25)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(X_i) - (X_a \sum X_i)}{(n-1)}} \quad (2.26)$$

$$X_T = \bar{X} \frac{Y_T - Y_n}{S_n} S \quad (2.27)$$

Keterangan:

$X_T$  = hujan maksimum dalam periode ulang T tahun

$Y_t$  = reduce mean

$Y_n$  = reduce mean

$S_n$  = reduce standar deviasi

$S_x$  = standar deviasi

$X_i$  &  $X_n$  = harga besaran pada pengamatan dan harga besaran rata-rata

n = jumlah tahun pengamatan

Tabel 2.8 *Reduce Standard Deviation*(Sn)

<b>U</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>10</b>	0.949	0.937	0.988	0.997	1.009	1.02	1.103	1.041	1.049	1.036
<b>20</b>	1.062	1.069	1.073	1.081	1.086	1.091	1.096	1.1	1.104	1.108
<b>30</b>	1.112	1.113	1.119	1.122	1.125	1.128	1.131	1.133	1.136	1.138
<b>40</b>	1.141	1.143	1.145	1.148	1.149	1.157	1.153	1.155	1.137	1.139
<b>50</b>	1.16	1.162	1.163	1.163	1.166	1.168	1.169	1.17	1.172	1.173
<b>60</b>	1.174	1.175	1.177	1.177	1.179	1.18	1.184	1.182	1.183	1.184
<b>70</b>	1.185	1.186	1.186	1.187	1.189	1.19	1.196	1.191	1.192	1.193
<b>80</b>	1.194	1.194	1.195	1.195	1.197	1.197	1.198	1.199	1.199	1.2
<b>90</b>	1.201	1.201	1.202	1.202	1.203	1.204	1.204	1.205	1.205	1.206
<b>100</b>	1.207	1.207	1.207	1.208	1.208	1.208	1.209	1.209	1.209	1.21
<b>1000</b>	1.27									

Tabel 2.9 *Return Periode as a function of Reduce Variate*(Yt)

<b>Periode ulang</b>	<b>Reduce variate</b>
2	0.3665
5	14.999
10	22.502
25	31.985
50	39.019
100	46.001
1000	69

Tabel 2.10 *Reduce Mean* (Yn)

<b>U</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>10</b>	0.495	0.499	0.503	0.507	0.51	0.51	0.513	0.52	0.522	0.522
<b>20</b>	0.523	0.523	0.526	0.528	0.53	0.53	0.532	0.533	0.535	0.535
<b>30</b>	0.536	0.537	0.538	0.538	0.54	0.54	0.541	0.541	0.543	0.543
<b>40</b>	0.543	0.544	0.544	0.545	0.546	0.546	0.546	0.547	0.548	0.548
<b>50</b>	0.546	0.549	0.549	0.549	0.55	0.5	0.55	0.551	0.551	0.551
<b>60</b>	0.532	0.552	0.552	0.553	0.553	0.553	0.553	0.554	0.554	0.554

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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	0.56	0.5602	0.5603	0.5604	0.5606	0.5607	0.5608	0.5609	0.561	0.5611
1000	0.575									

Selanjutnya ditentukan jenis sebaran yang tepat (mendekati) dengan syarat-syarat batas tertentu seperti pada tabel 2.11 dibawah.

Tabel 2.11 Syarat-syarat Batas Penentuan Sebaran

No.	Jenis Sebaran	Syarat
1	Distribusi Normal	$C_s = 0$ $C_k = 3$
2	Distribusi 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	Distribusi Gumbel	$C_s = 1.14$ $C_k = 5.4$
4	Distribusi Log Person III	Selain dari nilai diatas

### 2.3.1 Uji Kecocokan

Menurut Daniel (1989), uji-uji keselarasan (*goodness of fit*) merupakan uji kecocokan distribusi yang bermanfaat untuk mengevaluasi sampai seberapa jauh suatu model mampu mendekati situasi nyata yang digambarkannya dalam jurnal (Fadlilah et al., 2017). Berikut merupakan uji kecocokan yang sering digunakan yaitu :

#### a. Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat bertujuan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang telah dianalisis. Kemudian pengambilan keputusan uji Chi-Kuadrat menggunakan parameter  $X^2$  (Suripin, 2004) dalam jurnal (Sadewo & Sutoyo, 2018).

Berikut persamaan uji chi-kuadrat :

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.28)$$

Keterangan:

$X_h^2$  = harga chi-kuadrat

$O_i$  = jumlah data yang teramati terdapat pada sub kelompok ke-i

$E_i$  = jumlah data yang secara teoritis terdapat pada sub kelompok ke-i

G = jumlah sub kelompok

Nilai  $X^2$  yang diperbolehkan harus lebih kecil dari nilai  $X_{cr}^2$  (Chi-Kuadrat kritis), untuk suatu derajat nyata tertentu, yang sering diambil 5%. Derajat kebebasan dihitung dengan persamaan:

$$dK = n - 3 \quad (2.29)$$

Keterangan:

dK = derajat kebebasan

n = banyaknya data

Tabel 2.12 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	0,00098	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	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	6,625	7,015	8,231	9,39	28,869	31,526	34,805	37,156

Dk	$\alpha$ (Derajat Kepercayaan)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
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

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

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  $(O_i - E_i)^2 / E_i$ .
6. Jumlah seluruh G sub-kelompok nilai  $\sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$  untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat hitung.
7. Tentukan derajat kebebasan  $Dk = K - (p + 1)$ .

#### b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov Kolmogorov Uji kecocokan Smirnov Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur dasarnya mencakup perbandingan antara frekuensi kumulatif eksperimental dan distribusi teoritis yang diasumsikan (Sadewo & Sutoyo, 2018). Berikut Langkah-langkah pelaksanaan uji Smirnov-Kolmogorov :

1. Urutkan nilai data bisa dari nilai terkecil terlebih dahulu, atau nilai terbesar terlebih dahulu dan tentukan besarnya nilai dari data-data tersebut :

$$X_1 \rightarrow P(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P(X_2)$$

$$X_m \rightarrow P(X_m)$$

$$X_n \rightarrow P(X_n)$$

2. Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data(persamaan distribusinya):

$$X_1 \rightarrow P'(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P'(X_2)$$

$$X_m \rightarrow P'(X_m)$$

$$X_n \rightarrow P'(X_n)$$

3. Menentukan peluang teoritis masing-masing data yang telah diurutkan berdasarkan persamaan distribusi probabilitas.
4. Menghitung selisih (Do) antara peluang empiris dan teoritis untuk setiap data yang sudah diurut.

Tabel 2.13 Nilai Kritis Do 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
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
25	0,210		0,240	0,270	0,320

### 2.3.2 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan persatuan waktu, dengan demikian intensitas curah hujan menyatakan besarnya curah hujan dalam jangka waktu yang pendek misalnya periode 5 menit, 10 menit, 30 menit, dan 60 menit, untuk memberikan gambaran derasnya hujan per satuan jam.

Hubungan antara intensitas lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung intensitas – durasi – frekuensi (IDF = *Intensity – Duration – Frequency Curve*). Data hujan jenis ini hanya bisa diperoleh dari pos stasiun hujan otomatis, kemudian berdasarkan data hujan jangka pendek tersebut lengkung IDF dapat dibuat dengan beberapa persamaan berikut (Suripin, 2004):

#### 1. Rumus Talbot

Rumus ini banyak digunakan karena mudah diterapkan dan tetapan-tetapan a dan b ditentukan dengan harga – harga yang terukur.

$$I = \frac{a}{t + b} \quad (2.30)$$

Keterangan:

I = intensitas hujan (mm/jam)

T = lamanya hujan (jam)

a & b = konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi

#### 2. Rumus Sherman

Rumus ini dikemukakan oleh Prof. Sherman dalam tahun 1905. Rumus ini mungkin cocok untuk jangka waktu hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (2.31)$$

Keterangan:

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

n = konstanta

#### 3. Rumus Ishiguro

Rumus ini dikemukakan oleh Dr. Ishiguro dalam tahun 1953.

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \quad (2.32)$$

Keterangan:

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

a & b = konstanta yang tergantung pada lamanya hujan

#### 4. Rumus Mononobe

Rumus ini disebut rumus Mononobe dan merupakan sebuah variasi dari rumus-rumus lainnya. Namun rumus intensitas curah hujan ini digunakan untuk curah hujan jangka pendek. Parameter ini digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan setiap waktu berdasarkan data curah hujan harian:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.33)$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

R<sub>24</sub> = Curah hujan maksimum harian selama 24 jam (mm)

### 2.3.3 Analisis Debit Limpasan

Persamaan untuk menentukan drainase perkotaan yaitu dengan menggunakan metode rasional, persamaan ini banyak digunakan karena rumus yang sederhana. Bentuk persamaan rasional ini adalah sebagai berikut:

$$Q = 0.00278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (2.34)$$

Keterangan:

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

C = Koefisien run off

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas DAS (ha)

0.00278 = Konstanta dalam perencanaan saluran drainase

#### a. Koefisien Limpasan (*Runoff*)

Koefisien limpasan untuk drainase perkotaan sangat dipengaruhi oleh daerah kedap air dapat dihitung dengan parameter sebagai berikut:

$$C = 0,91_m + (1 - I_m)Cp \quad (2.35)$$

Keterangan:

$C_p$  = Koefisien limpasan untuk daerah tidak kedap air

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

Nilai C komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_k = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n}{A_{total}} \quad (2.36)$$

Koefisien limpasan juga dapat diperkirakan berdasarkan tata guna lahan dan kondisi permukaan lahan. Untuk memperoleh nilai koefisien limpasan disajikan pada Tabel 2.14

Tabel 2.14 Koefisien Runoff dan Presentase 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	
Pemukiman (kepadatan rendah)	10 rmh/ha	0,40	<20	CN = 85 (Curve Number)
Taman	Daerah datar	0,30	0	
Pedesaan	Tanah	0	0	C=0,20;CN=60
	berpasir	0	0	C=0,35;CN=75
	Tanah berat ( <i>heavy soil</i> )	0	0	C=0,50;CN=85
	Daerah irigasi			

a. Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir dari titik terjauh menuju ke titik tinjauan. Salah satu metode untuk memperkirakan waktu konsentrasi adalah rumus yang dikembangkan oleh Kirpich (1940). Dalam perjalanan limpasan air hujan, air melalui dua fase yaitu fase lahan dan fase saluran.

Waktu konsentrasi adalah jumlah dari fase lahan dan fase saluran (Laoh et al., 2013). Sehingga perumusannya menjadi :

$$t_c = t_o + t_d \quad (2.37)$$

Fase saat dilahan ( $t_o$ ) adalah :

$$t_o = \left[ \frac{2}{3} \times 3.28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right] \quad (2.38)$$

Fase saat di saluran adalah :

$$t_d = \frac{L_s}{60V} \quad (2.39)$$

Keterangan:

- n = Angka kekasaran manning
- S = Kemiringan lahan
- 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/detik)

#### 2.4 Analisis Hidrolika

Analisa hidrolika digunakan untuk menentukan kapasitas saluran dengan memperhatikan sifat-sifat hidrolika yang terjadi pada saluran drainase tersebut. Sifat-sifat tersebut meliputi jenis aliran (*steady* atau *unsteady*), angka kekasaran (manning) dan sifat alirannya (kritis, sub-kritis dan super kritis) (Yansyah & Kusumastuti, 2015).

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

$$A = B \times H \quad (2.41)$$

$$P = B + 2H \quad (2.42)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.43)$$

$$V = K \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (2.44)$$

$$K = \frac{1}{n} \quad (2.45)$$

Keterangan:

- Q = Debit Rencana ( $m^3/detik$ )

- V = Kecepatan aliran (m/detik)  
 A = Luas penampang basah (m<sup>2</sup>)  
 B = Lebar dasar saluran (m)  
 H = Kedalaman air (m)  
 R = Jari-jari hidrolis (m)  
 P = Keliling penampang basah (m)  
 n = Koefisien kekasaran  
 S = Kemiringan dasar saluran ( $\Delta H/L$ )  
 L = Panjang ruas yang ditinjau (m)

Tabel 2.15 Koefisien Kekasaran Manning(n) Sesuai Kondisi Saluran

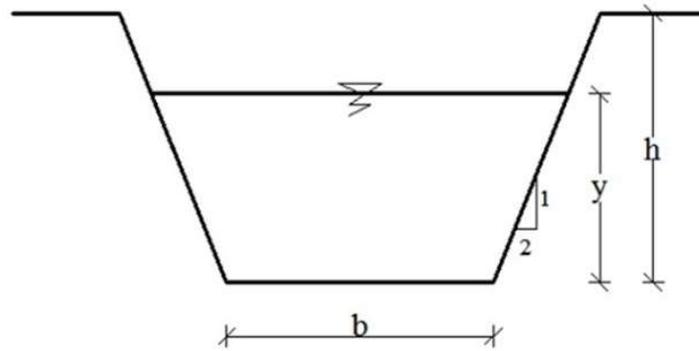
No	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
<b>I</b>	<b>Saluran Buatan</b>				
1.	Saluran tanah, lurus teratur	0.017	0.020	0.-23	0.025
2.	Saluran tanah, yang dibuat dengan excavator	0.023	0.028	0.030	0.040
3.	Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur	0.023	0.030	0.033	0.035
4.	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur	0.035	0.040	0.045	0.045
5.	Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan	0.025	0.030	0.035	0.040
6.	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0.028	0.030	0.033	0.035
7.	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0.020	0.025	0.028	0.030
<b>II</b>	<b>Saluran Alam</b>				
8.	Bersih, lurus, tidak berpasir, tidak berlubang	0.025	0.028	0.030	0.033

No	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
9.	Seperti no.8 tapi ada tumbuhan atau kerikil	0.030	0.033	0.035	0.040
10.	Melengkung, bersih, berlubang, dan berdinding, pasir	0.033	0.035	0.040	0.045
11.	Seperti no.10, dangkal, tidak teratur	0.040	0.045	0.050	0.055
12.	Seperti no.10, berbatu dan ada tumbuhan	0.035	0.040	0.045	0.050
13.	Seperti no.11, sebagian berbatu	0.045	0.050	0.055	0.060
14.	Aliran pelan, banyak tumbuhan dan berlubang	0.050	0.060	0.070	0.080
15.	Banyak tumbuh-tumbuhan	0.075	0.100	0.125	0.150
<b>III</b>	<b>Saluran Batuan, Beton atau Batu Kali</b>				
16.	Saluran pasangan batu, tanpa finishing	0.025	0.030	0.033	0.035
17.	Seperti no.16, tapi dengan finishing	0.017	0.020	0.025	0.030
18.	Saluran beton	0.014	0.016	0.019	0.021
19.	Saluran beton halus dan rata	0.010	0.011	0.012	0.013
20.	Saluran beton pracetak dengan acuan baja	0.013	0.014	0.014	0.015
21.	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0.015	0.016	0.016	0.018

Fungsi dan unsur geometris penampang saluran:

a. Trapesium

Trapeسيوم 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

$$\text{Luas (A)} = (b + zh)h \quad (2.46)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2h\sqrt{1 + z^2} \quad (2.47)$$

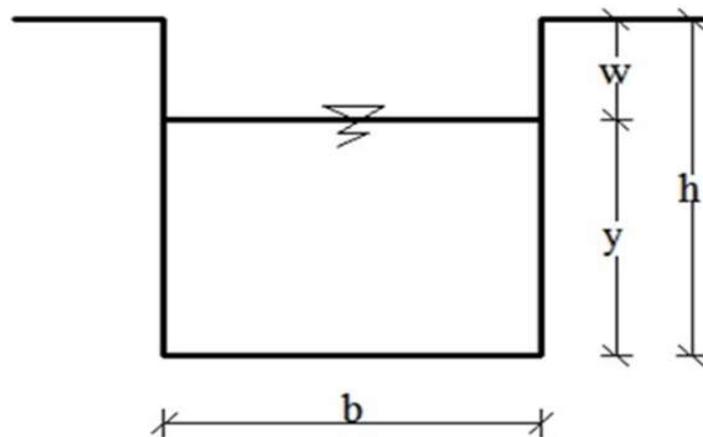
$$\text{Jari-jari hidrolik } \mathbb{R} = \frac{(b+zh)h}{b+2h\sqrt{1+z^2}} \quad (2.48)$$

$$\text{Lebar puncak (T)} = b + 2zy \quad (2.49)$$

$$\text{Faktor penampang (z)} = \frac{(b+zh)h^{1.5}}{\sqrt{b+2zh}} \quad (2.50)$$

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

$$\text{Luas (A)} = b \cdot h \quad (2.51)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2h \quad (2.52)$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (r)} = h \quad (2.53)$$

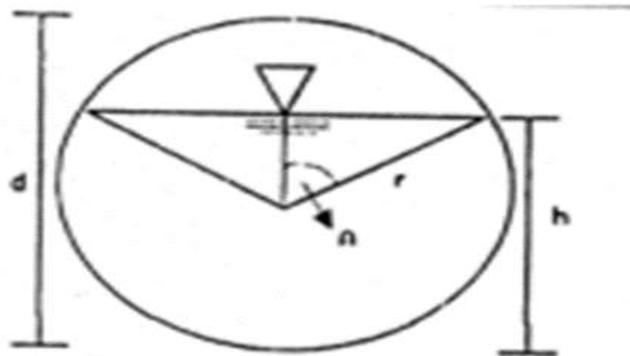
$$\text{Kecepatan aliran (V)} = \frac{1}{n} x R^{\frac{2}{3}} x S^{\frac{1}{2}} \quad (2.54)$$

$$\text{Debit aliran (Q)} = AxV \quad (2.55)$$

$$\text{Tinggi jagaan (w)} = \sqrt{0,5xh} \quad (2.56)$$

c. Lingkaran

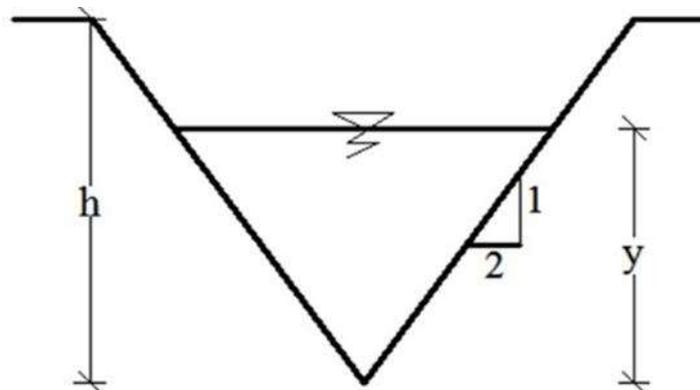
Lingkaran berfungsi untuk menyalurkan air bersih, limbah dan air hujan. Pada penggunaannya biasanya untuk gorong-gorong atau pipa distribusi air bersih.



Gambar 2.6 Penampang Saluran Lingkaran

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

$$\text{Luas penampang basah (A)} = zh^2 \quad (2.57)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = zh\sqrt{1+z^2} \quad (2.58)$$

$$\text{Jari-jari hidrolis } R = \frac{zh}{2\sqrt{1+z^2}} \quad (2.59)$$

#### 2.4.1 Kapasitas Saluran

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

$$Q = VxA \quad (2.60)$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.61)$$

Keterangan:

- R = Jari-jari hidrolis (m)
- V = Kecepatan aliran rata-rata (m/det)
- n = Koefisien kekasaran *manning*
- Q = Kapasitas saluran (m<sup>3</sup>/det)
- A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)
- S = Kemiringan dasar saluran

#### 2.4.2 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 diijinkan sesuai dengan jenis materialnya di sajikan pada Tabel 2.16 dan kemiringan rata-rata saluran terhadap kecepatan rata-rata pada Tabel 2.17 (Suripin, 2004).

Tabel 2.16 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

No	Jenis Bahan	V yang diizinkan
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

Tabel 2.17 Kemiringan Rata-rata Saluran Terhadap Kecepatan Rata-rata

No	Kemiringan rata-rata saluran (%)	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

### 2.4.3 Komponen dan Parameter EPA SWMM 5.1

*Environmental Protection Agency Storm Water Management Model 5.1* (EPA SWMM 5.1) merupakan pemodelan yang digunakan untuk merencanakan, menganalisis dan mendesain suatu model yang berhubungan dengan limpasan air hujan dan sistem drainase perkotaan. SWMM adalah model simulasi dinamis hubungan antara curah hujan dan limpasan (*rainfall-runoff*). Model inipun digunakan untuk mensimulasikan kejadian hujan tunggal atau berkelanjutan dalam waktu lama, baik berupa volume limpasan maupun kualitas air, terutama pada suatu daerah perkotaan (Agency, 2010).

Kegunaan program SWMM ini diantaranya sebagai perencanaan dan dimensi jaringan pembuang untuk pengendalian banjir serta perencanaan daerah penahan sementara untuk pengendalian banjir. Objek pada EPA SWMM 5.1 (M. Rizal Zarkani, Bambang Sujatmoko, 2016), meliputi:

1. Pengukur Hujan (*Rain Gage*)

SWMM menggunakan obyek *rain gage* untuk menampilkan input data ke sistem. *Rain gage* menyuplai data presipitasi untuk satu atau lebih daerah tangkapan air pada stui wilayah (Manual EPA SWMM 5.1).
2. Daerah Tangkapan Air (Subcatchment)

Subcatchment adalah unit hidrologi dari tanah dimana topografi dan elemen sistem drainase menunjukkan permukaan limpasan pada satu titik pelepasan. Data yang diperlukan diantaranya rain gage, outlet, luas, lebar, % lahan kedap air, % kemiringan subcatchment, N-Imperv dan N-Pervious serta metode infiltrasi (Manual EPA SWMM 5.1).
3. *Junction*

*Junction* dapat menampilkan pertemuan dari saluran permukaan alami, lubang got dari sistem pembuangan, atau pipa penghubung. Data yang diperlukan diantaranya elevasi dan kedalaman maksimum (Manual EPA SWMM 5.1).
4. Pembuang (*outfall*)

*Outfall* adalah titik terminal dari sistem drainase biasanya ditetapkan akhir dari batas hilir dengan menginputkan data elevasi dan saluran pembunag (Manual EPA SWMM 5.1).
5. *Flow Divider*

*Flow divider* merupakan sistem drainase dimana inflow dialihkan pada conduit tertentu. Sebuah *flow divider* dapat memiliki tidak lebih dari dua conduit pada satu sistemnya (Manual EPA SWMM 5.1).
6. Unit Penyimpanan (*Storage units*)

*Storage units* adalah penyediaan volume tampungan dan berkapasitas sekecil kolam maupun sebesar danau. Volumetrik dari unit tampungan dibuat dari fungsi atau label dari area permukiman dan tinggi (Manual EPA SWMM 5.1).
7. Saluran (*Conduit*)

*Conduit* merupakan saluran yang mengalirkan air. SWMM menggunakan rumus Manning untuk menyatakan hubungan antara debit (Q), luas

penampang (A), jari-jari hidraulik (R) dan kemiringan (S) (Manual EPA SWMM 5.1).

#### 8. Pompa (*Pumps*)

*Pumps* digunakan untuk menaikkan atau meninggikan elevasi air. Kapasitas sebuah pompa direperentasikan dalam kurva pompa (Manual EPA SWMM 5.1).

#### 9. *Flow Regulators*

*Flow regulators* merupakan struktur atau sarana yang digunakan untuk mengontrol atau mengalihkan aliran (Manual EPA SWMM 5.1).

### 2.5 Pengukuran Permeabilitas

Metode pengujian peresapan air yang telah banyak dikembangkan dan ada 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 :

$$k = \frac{Q}{2\pi H^3} \left( H \log e \left[ \left( \frac{H}{r} \right) + \sqrt{1 + \left( \frac{H}{r} \right)^2} \right] - \sqrt{r^2 + H^2} + r \right) \quad (2.62)$$

Keterangan :

k = Koefisien permeabilitas (cm/detik)

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

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

H = Kedalaman air dalam sumur pengujian (cm)

### 2.5.1 Pengujian Dilapangan

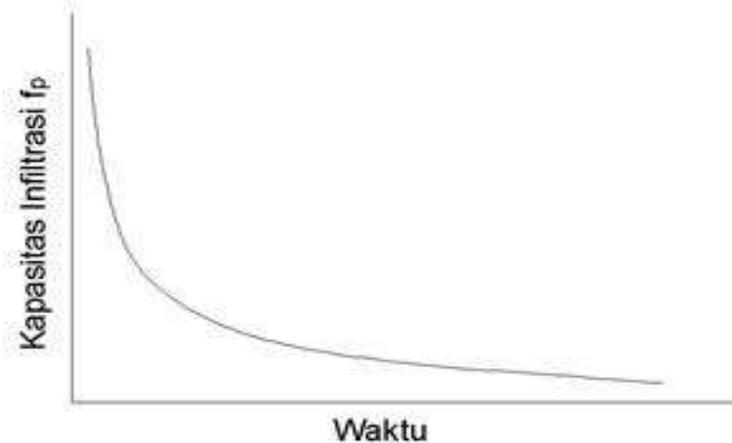
Dalam pengujian nilai permeabilitas di lapangan terdapat beberapa tahapan (Masykur, 2017), yaitu:

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. Memasukan 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.

### 2.5.2 Kapasitas Infiltrasi

Laju infiltrasi aktual ( $f_{ac}$ ) adalah laju air berpenetrasi 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

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.

### 2.5.3 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 11 infiltrasi metode Horton terlihat pada gambar 2.9. Model Horton dapat dinyatakan secara matematis mengikuti persamaan sebagai berikut.

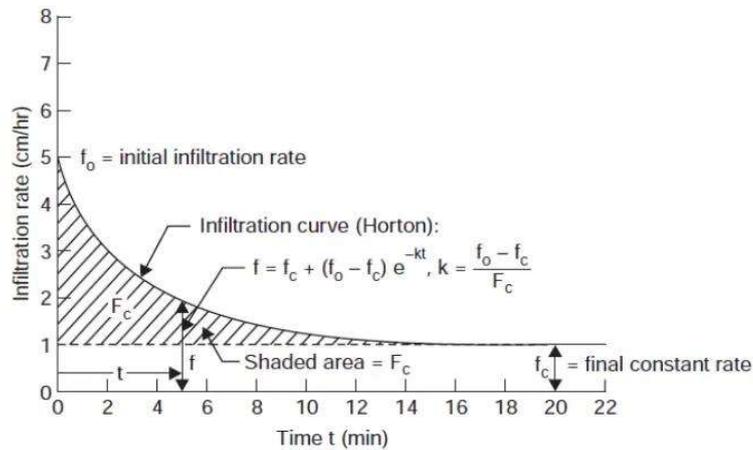
$$f = fc + (fo - fc) x e^{-kt} \quad (2.63)$$

Keterangan :

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

$fo$  = 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

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 2.63 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 diintegrasikan seperti pada persamaan berikut.

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt} \quad (2.64)$$

$$F = f_c \cdot t + (f_0 - f_c)(1 - e^{-kt}) \quad (2.65)$$

## 2.6 Konsep Drainase Berwawasan Lingkungan

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.

Oleh karena itu perlu adanya perencanaan penerapan untuk merubah konsep drainase konvensional menjadi konsep drainase berwawasan lingkungan (eko-drainase) sehingga dapat menimbulkan dampak positif bagi lingkungan sekitarnya. Konsep yang digunakan dalam perencanaan drainase berwawasan lingkungan adalah metode sumur resapan berwawasan lingkungan (eko-drainase) yang akan diterapkan di wilayah kampus Universitas Siliwangi.

### **2.6.1 Metode 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 ada sumur resapan tipe dangkal dan sumur resapan tipe dalam, dan memiliki fungsi untuk meresapkan dan menampung air hujan yang jatuh di atas permukaan.

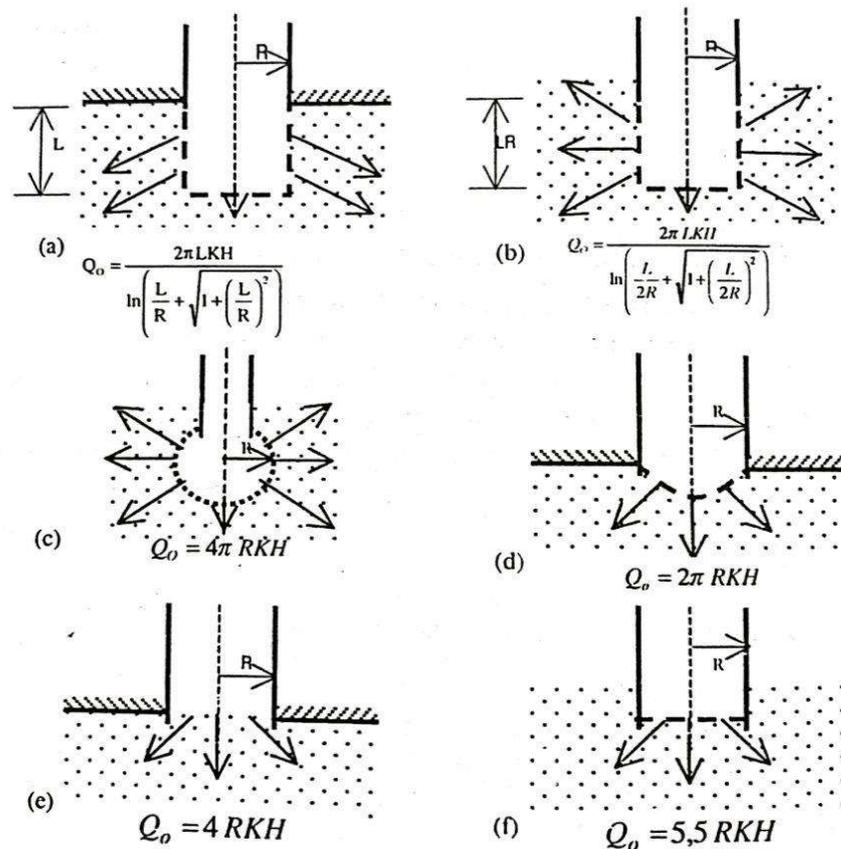
Sumur resapan merupakan kebalikan dari sumur air untuk minum, dimana sumur resapan berfungsi untuk memasukan kelebihan air permukaan sedangkan sumur air minum mempunyai fungsi untuk menaikkan air tanah ke permukaan. Dalam pembangunannya sumur resapan digali di atas permukaan air tanah, sedangkan sumur 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 bergantung 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 melewati 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 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, sebagai berikut :



Gambar 2.10 Debit Resapan Sumur dengan Berbagai Kondisi

Perencanaan Sumur Resapan Metode Sunjoto (1998), dalam menghitung volume dan efisiensi sumur resapan dapat dihitung berdasar keseimbangan air yang masuk ke sumur resapan dan meresap ke dalam tanah (Sunjoto, 1998). Persamaannya adalah :

$$H = \frac{Q}{K} (1 - e^{-\frac{FKT}{\pi R^2}}) \quad (2.69)$$

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

$$Q_0 = F.K.H \quad (2.70)$$

Keterangan :

- H = Tinggi muka air dalam sumur (m)
- F = Faktor geometrik (m)
- Q = Debit air masuk ( $m^3/dt$ )
- T = Waktu pengaliran (s)
- K = Koefisien permeabilitas tanah (m/s)
- 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.

### 2.6.1.1 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 2.18 Petunjuk Teknis Tata Cara Penerapan Sumur Resapan

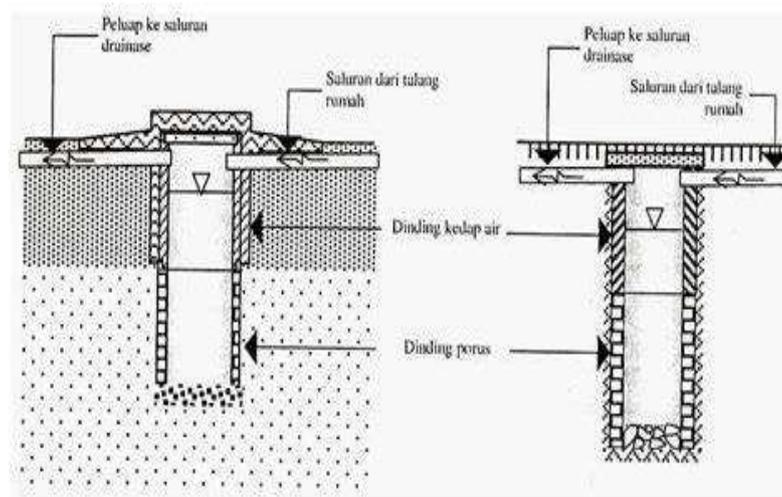
No	Bahan Sumur Resapan Air Hujan	Komponen
1	Petunjuk Teknis Tata Cara Penerapan Drainase Berwawasan Lingkungan di Kawasan Permukiman, 2002.	Penutup sumur
2	Plat beton tidak bertulang tebal 10 cm, campuran 1 : 2 : 3 berbentuk cubung dan tidak diberi beban di atasnya	Penutup sumur

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

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

1. Tipe I, dengan dinding tanah. Tipe ini diterapkan pada kedalaman tanah 1,50 m, 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 kedalaman tanah maksimum 3 m, untuk semua jenis tanah.

3. Tipe III, dengan dinding buis beton porous/tidak porous dan pada ujung pertemuannya 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. Tipe ini diterapkan pada



Gambar 2.11 Salah Kontruksi Sumur Resapan

#### 2.6.1.2 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 ini harus disetujui instansi yang berwenang.

Persyaratan teknis yang harus dipenuhi:

1. Kedalaman air tanah minimum 1,50 m 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 teresap habis dalam 1 jam.
3. Jarak penempatan sumur resapan air hujan terhadap bangunan.

### 2.6.1.3 Jenis Sumur Resapan

Jenis sumur resapan dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Sumur Resapan Individu 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 Sumur resapan Kolektif 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 dapat berfungsi dengan baik.

### 2.6.2 Metode 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 alternative 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 ( $m^3$ )

$I$  = Aliran masuk ( $m^3/det$ )

$O$  = Aliran Keluar ( $m^3/det$ )

$K$  = Koefisien tampungan, perkiraan waktu perjalanan air dari saluran

$t$  = Waktu penelusuran (detik, menit, atau jam)

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

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

Keterangan:

$Q$  = Debit aliran di pelimpah ( $m^3/det$ )

$C_d$  = Koefisien debit = 1,7

$B$  = Lebar bangunan pelimpah (m)

$H$  = Tinggi peluapan (m)

## 2.7 Rencana Anggaran Biaya

Menurut Ervianto Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah perkiraan biaya yang akan digunakan pada pekerjaan proyek konstruksi yang disusun berdasarkan gambar atau bestek. RAB bukan biaya yang sebenarnya, tetapi biaya yang digunakan kontraktor untuk menentukan harga penawaran, sehingga dalam pelaksanaannya nanti tidak menghabiskan biaya yang lebih tinggi dari penawaran dan bias jadi biaya kurang dari penawaran yang ditetapkan (Akbar et al., 2021).

terdapat beberapa faktor yang memengaruhi dalam pembuatan rencana anggaran biaya, antara lain :

1. Produktivitas tenaga pekerja
2. Ketersediaan bahan
3. Kondisi cuaca tempat dilaksanakannya proyek
4. Jenis kontrak proyek
5. Permasalahan pada kualitas yang ingin dicapai
6. Sistem pengendalian
7. Kemampuan manajemen

Langkah – langkah pekerjaan yang harus dilakukan dalam pembuatan rencana anggaran biaya sebagai berikut :

1. Penentuan Work Breakdown Structure, berguna untuk memecahkan tiap proses pekerjaan menjadi lebih detail. Hal ini dimaksudkan agar proses perencanaan proyek memiliki tingkat yang lebih baik

2. Perhitungan Volume, berguna untuk mengetahui berapa volume yang diperlukan untuk berapa biaya yang akan dipakai dalam RAB
3. Bill Of Quantity, daftar rincian kebutuhan bahan pekerjaan yang disusun secara sistematis menurut kelompok/bagian pekerjaan, disertai keterangan mengenai volume dan satuan setiap jenis pekerjaan
4. Analisa Harga Satuan, berguna untuk mengetahui biaya tenaga kerja, bahan dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan atau satu jenis pekerjaan tertentu.
5. Rencana Anggaran Biaya Detail dan Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya, berguna untuk mengetahui berapa detail perhitungan biaya yang didapat, dan untuk rekapitulasi berguna untuk penjumlahan total dari seluruh total jumlah harga dari item-item pekerjaan. Rekapitulasi rencana anggaran biaya juga memuat pajak 10% atau yang di sebut PPN pajak pendapatan negara.

#### **2.7.1 Work Breakdown Structure (WBS)**

Bangunan akan dibangun sesuai dengan spesifikasi dan desain yang telah disepakati dan direncanakan oleh owner dengan kontraktor. Sebelum pekerjaan dimulai, lokasi harus dibersihkan dari segala sesuatu yang mengganggu kelancaran pekerjaan, menghilangkan humus-humus sebelum dilakukan galian/urugan dan selanjutnya tanah-tanah kelebihan/sisasisa galian timbunan harus disingkirkan oleh pihak kontraktor. Dalam proyek ini, tidak dilakukan perhitungan selain yang tertera pada WBS.

Work Breakdown Structure (WBS) adalah suatu hirarki dari susunan komponen proyek atau total lingkup proyek yang dipecah dengan mengelompokkan menjadi lebih kecil dan menggambarkan suatu deliverable proyek yang dilaksanakan oleh tim proyek. Pengelompokan dilakukan bertingkat seperti membuat silsilah, dimana tingkat 0 adalah proyeknya sendiri dan tingkat terendah merupakan suatu paket pekerjaan. Jumlah tingkat ditetapkan sesuai dengan kebutuhan sedemikian rupa sehingga unit terendah merupakan satuan kerja yang dapat dikelola dengan baik (managable unit) dan dapat ditetapkan berada di bawah tanggung jawab individu tertentu dalam organisasi.

Pekerjaan yang tidak termasuk di dalam WBS adalah diluar lingkup proyek. Work Breakdown Structure (WBS) biasanya ditunjukkan dalam bentuk chart atau

bagan dengan tingkatan seperti yang dijelaskan diatas. Work Breakdown Structure (WBS) juga bertujuan untuk :

1. Mengidentifikasi aktivitas
2. Mengidentifikasi lama pekerjaan dapat diselesaikan
3. Mengidentifikasi biaya
4. Mengidentifikasi resource yang dibutuhkan
5. Mengidentifikasi penanggung jawab
6. Memudahkan pengontrolan dan waktu monitoring

### **2.7.2 Perhitungan Volume**

Volume pekerjaan adalah satuan volume pekerjaan sesuai dengan item pekerjaan masing-masing. Volume dihitung untuk mendapatkan besaran biaya diperlukan untuk melakukan pekerjaan ini. Untuk menghasilkan perhitungan volume yang benar, penduga harus memahami gambar desain definitif. Gambar itu termasuk denah lantai, potongan dan detail yang saling melengkapi.

Pada perhitungan bangunan dan masing-masing jenis pekerjaan, cara perhitungan volumenya berbeda tergantung bentuknya, tetapi rumus dasar yang digunakan tetaplah sama yaitu menggunakan rumus matematika, seperti luas, keliling, dan volume. Untuk volume satuan dihitung dengan buah atau unit yang terdiri dari rangkaian material yang sudah menjadi satu kesatuan.

Dalam perencanaan dan pengadaan konstruksi, diperlukan perhitungan volume untuk menghitung rencana anggaran biaya (RAB) bangunan, maupun sebagai pedoman untuk membeli bahan bangunan, dan juga mengetahui durasi tiap pekerjaan yang akan dilaksanakan.

### **2.7.3 Bill Of Quantity**

Daftar kuantitas dan harga atau *Bill of Quantity* (BoQ) adalah daftar rincian kebutuhan bahan pekerjaan yang disusun secara sistematis menurut kelompok/bagian pekerjaan, disertai keterangan mengenai volume dan satuan setiap jenis pekerjaan.

### **2.7.4 Analisa Harga Satuan**

Analisis Harga Satuan Pekerjaan adalah perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan atau satu jenis pekerjaan tertentu. Analisa harga satuan bertujuan untuk mengetahui harga satuan

suatu pekerjaan didalam volume tertentu. Dalam penentuan harga satuan pekerjaan baik harga satuan untuk material maupun harga satuan upah tenaga kerja untuk analisa Rencana Anggaran Biaya (RAB), diperoleh dari daftar harga yang dikeluarkan Pemda setempat, daftar harga yang dikeluarkan Instansi tertentu, jurnal-jurnal harga bahan dan upah, bapenas, survei harga di lokasi proyek. Dan juga dalam penentuan harga satuan dibutuhkan pula koefisien. Koefisien analisa harga satuan adalah angka yang menunjukkan jumlah kebutuhan bahan atau tenaga kerja dalam satuan tertentu.

Langkah – langkah dalam melakuakn analisa harga satuan sebuah proyek:

1. Koefisien dapat ditentukan melalui Permen PU No. 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.
2. Menentukan harga satuan
3. Mengalikan koefisien dengan harga satuan
4. Menjumlahkan hasil kali koefisien dengan harga satuan untuk mendapatkan nilai harga satuan pokok kegiatan (HSPK) untuk tiap item pekerjaan.

#### **2.7.5 Rencana Anggaran Biaya Detail dan Rekapitulasi**

Rekapitulasi rencana anggaran biaya (RAB) detail berguna untuk mengetahui berapa detil perhitungan biaya yang didapat, dan untuk rekapitulasi berguna untuk penjumlahan total dari seluruh total jumlah harga dari item-item pekerjaan. Rekapitulasi rencana anggaran biaya juga memuat pajak 11% atau yang disebut PPN pajak pendapatan negara.