

## 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Banjir

Banjir adalah peristiwa terbenamnya daratan (yang biasanya kering) karena volume air yang meningkat. Banjir ada dua peristiwa, pertama peristiwa banjir atau genangan yang terjadi pada daerah yang biasanya tidak terjadi banjir. Peristiwa kedua banjir terjadi karena limpasan air banjir dari sungai karena debit banjir tidak mampu dialirkan oleh alur sungai atau debit banjir lebih besar dari kapasitas pengaliran sungai yang ada (Suripin, 2004).

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

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang di batasi punggung-punggung gunung dimana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut akan ditampung oleh punggung gunung tersebut dan akan dialirkan melalui sungai-sungai kecil ke sungai utama. DAS termasuk suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. (PP No 37 tentang Pengelolaan DAS, Pasal 1).

Daerah Tangkapan Air (DTA) Daerah Tangkapan Air adalah suatu kawasan yang berfungsi sebagai daerah penadah air yang mempunyai manfaat penting untuk mempertahankan kelestarian fungsi sumber air di wilayah daerah. Daerah Tangkapan Air (DTA) adalah kawasan di hulu danau yang memasok air ke danau (Nduru, 2015).

### 2.3 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 kesemaannya mempunyai arahan untuk mengetahui besarnya curah hujan rencana, sehingga melalui analisis ini dapat dilakukan juga proses evaluasi terhadap saluran drainase yang ada (Eksisting).

## 2.4 Hujan Kawasan

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

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

### 2.4.1 Metode Rerata Aritmatik

Metode ini adalah yang paling sederhana untuk menghitung hujan rerata pada suatu daerah. Pengukuran yang dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlahkan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun. Stasiun yang digunakan dalam hitungan biasanya adalah yang berada dalam DAS, tetapi stasiun di luar DAS yang masih berdekatan juga bisa diperhitungkan (Triatmodjo, 2013).

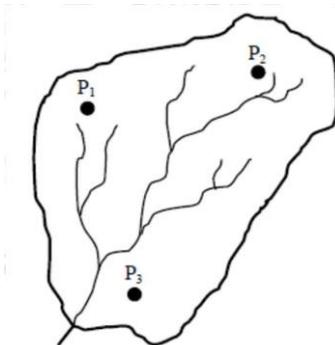
$$P = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{n} \quad ( 2.1 )$$

Keterangan :

P = Curah hujan rata-rata daerah (mm)

$P_1, P_2, \dots, P_n$  = Tinggi curah hujan yang tertakar pada pos 1, 2, ... , n (mm)

n = Banyaknya pos hujan.



Gambar 2.1 Metode Aritmatik  
Sumber: Soemarto (1987)

### 2.4.2 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 thiesen :

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 thiesen 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.

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

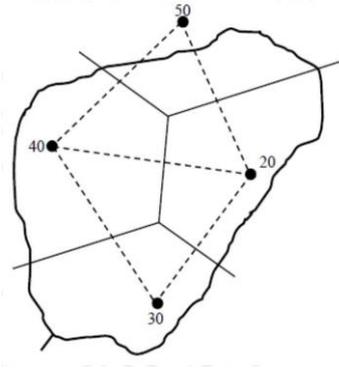
$$P = \frac{p_1A_1 + p_2A_2 + p_3A_3 + \dots + p_nA_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad ( 2.2 )$$

Keterangan :

P = Curah hujan rata-rata daerah (mm)

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  = Curah hujan di stasiun 1, 2, ..., n (mm)

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  = Luas daerah yang wakili di stasiun 1,2, ..., n ( $\text{Km}^2$ )



Gambar 2.2 Metode *Polygon Thiessen*  
Sumber: Soemarto (1987)

### 2.4.3 Metode Isohyet

Metode Isohyet merupakan metode yang paling akurat dibanding dengan metode poligon thiessen dan rata-rata aljabar, namun dalam penggunaan metode ini diperlukan keahlian dan pengalaman. Metode ini sangat cocok untuk kawasan pergunung atau daerah berbukit dan tidak teratur dengan luas lebih dari 5.000 km<sup>2</sup>. Metode ini memperhitungkan secara aktual pengaruh setiap pos stasiun hujan dan beranggapan bahwa data hujan pada suatu daerah luasan diantara dua garis isohyet adalah merata dengan rerata dari nilai kedua garis isohyet tersebut (Suripin, 2004).

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.

Persamaan hitungan hujan rata-rata Daerah Aliran Sungai (DAS) menggunakan metode isohyet sebagai berikut :

$$\bar{P} = \frac{A_1 \left( \frac{I_1 + I_2}{2} \right) + A_2 \left( \frac{I_2 + I_3}{2} \right) + \dots + A_{n-1} \frac{I_{n-1} + I_n}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1}} \quad (2.3)$$

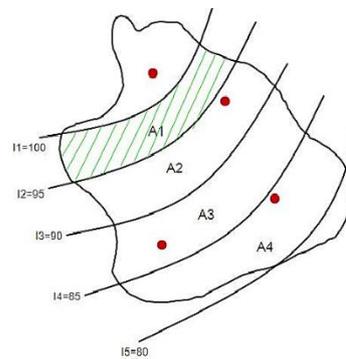
Keterangan: :

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

$I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$  = Curah hujan di stasiun 1, 2, ..., n (mm)

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  = Luas areal dari titik  $I$

$n$  = Banyaknya stasiun hujan.



Gambar 2.3 Metode Isohyet  
(Sumber : Suripin, 2004)

#### 2.4.4 Cara Pemilihan Metode Analisis Curah Hujan

Menentukan pemilihan metode yang cocok untuk di pakai pada suatu DAS dalam menganalisa curah hujan berdasarkan tiga faktor yaitu jaring-jaring pos penakar hujan, luas DAS dan topografi DAS sebagai berikut :

Tabel 2.1 Pemilihan Metode Berdasarkan Pos Penakar Hujan

Jumlah Pos Penakar	Metode yang digunakan
Pos Penakar Hujan Cukup	Aljabar, Isohyet dan Poligon Thiessen
Pos Penakar Hujan Terbatas	Aljabar atau Poligon Thiessen
Pos Penakar Hujan Tunggal	Metode Hujan Titik

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2.2 Pemilihan 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 Poligon Thiessen
DAS Kecil (< 500 km <sup>2</sup> )	Metode Rata-rata Aljabar

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2.3 Pemilihan Metode Berdasarkan Topografi DAS

Jenis Topografi DAS	Metode yang digunakan
Pergunungan	Metode Rata-rata Aljabar
Dataran	Metode Poligon Thiessen
Bukit tidak beraturan	Metode Isohyet

(Sumber : Suripin, 2004)

#### 2.4.5 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi digunakan untuk menentukan hujan rancangan dalam berbagai kala ulang berdasarkan distribusi yang paling sesuai antara distribusi hujan secara teoritik dengan distribusi hujan secara empirik. Dalam penelitian ini dihitung hujan harian rancangan dengan kala ulang 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 dan 100 tahun (Suroso, 2006). Dalam bidang hidrologi terdapat beberapa macam distribusi frekuensi dan empat jenis distribusi yang digunakan, yaitu:

##### a. Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan. Sebaran normal atau kurva normal disebut pula sebaran Gauss. Rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah :

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

Keterangan :

$X_T$  = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi pada periode ulang T

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

S = Standar Deviasi

$K_T$  = Faktor Reduksi Gauss

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

No.	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	$K_T$
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	0.200	2.050
18	100.000	0.010	2.330
19	200.000	0.005	2.580
20	500.000	0.002	2.880
21	1000.000	0.001	3.090

(Sumber : Suripin, 2004)

#### b. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X. Rumus yang digunakan dalam perhitungan metode ini sebagai berikut :

$$\text{Log}X_T = \text{Log}\bar{X} + K_T S \text{Log}\bar{X} \quad ( 2.5 )$$

Keterangan :

$\text{Log}X_T$  = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T

$\bar{X}$  = Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

S = Standar Deviasi

$K_T$  = Faktor reduksi Gauss

#### c. Distribusi Log Person Type III

Distribusi Log Pearson Tipe III digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Bentuk sebaran Log Pearson tipe III merupakan hasil transformasi dari sebaran Pearson tipe III dengan menggantikan varian menjadi

nilai logaritmik. Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut (CD Soemarto, Ir., B.I.E., 1995) :

$$Y = \text{Log}X \quad ( 2.6 )$$

$$\text{Log}X_T = \text{Log}\bar{X} + K_T S \quad ( 2.7 )$$

Keterangan :

$X_T$  = Hujan maksimum dimana periode ulang Tahunan

$\bar{X}$  = Curah hujan rata-rata dalam log x

S = Standar deviasi

$K_T$  = Faktor Frekuensi

Tabel 2.5 Nilai  $K_T$  Metode Log Person III

No.	Koefisien Skewnes	Periode Ulang (tahun)						
		2	5	10	20	25	50	100
1	3.0	-0.396	0.420	1.180	2.003	2.278	3.152	4.501
2	2.8	-0.384	0.460	1.210	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	3.800
5	2.2	-0.333	0.574	1.264	2.006	2.240	2.970	3.705
6	2.0	-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	2.780	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	1.340	1.910	2.087	2.626	3.149
11	1.0	-0.164	0.758	1.340	1.877	2.043	2.542	3.022
12	0.8	-0.132	0.780	1.336	1.839	1.993	2.453	2.891
13	0.6	-0.099	0.800	1.328	1.797	1.939	2.359	2.755
14	0.4	-0.066	0.816	1.317	1.750	1.880	2.261	2.615
15	0.2	-0.033	0.830	1.301	1.700	1.818	2.159	2.472
16	0.0	0.000	0.842	1.282	1.645	1.751	2.054	2.326
17	-0.2	0.033	0.850	1.258	1.586	1.680	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	1.200	1.458	1.528	1.720	1.880
20	-0.8	0.132	0.132	0.856	1.166	1.389	1.448	1.733
21	-1.0	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	1.270	1.318

No.	Koefisien Skewnes	Periode Ulang (tahun)						
		2	5	10	20	25	50	100
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
26	-2.0	0.307	0.777	0.895	0.949	0.959	0.980	0.990
27	-2.2	0.333	0.725	0.884	0.882	0.888	0.900	0.905
28	-2.4	0.351	0.725	0.7950	0.819	0.823	0.830	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	-30	0.396	0.636	0.66	0.666	0.666	0.666	0.667

(Sumber : Suripin, 2004)

Ada beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata-rata, simpangan baku, koefisien variasi, koefisien skewness (kecondongan atau kemencengan), koefisien kurtosis dan koefisien variasi (Soewarno, 1995). Tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Besarnya derajat dari sebaran varian di sekitar nilai rata-ratanya disebut dengan variasi atau dispersi. Cara mengukur besarnya variasi atau dispersi disebut dengan pengukuran variabilitas atau pengukuran dispersi. Beberapa macam cara dalam pengukuran dispersi diantaranya adalah :

1) Rata-rata

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

2) Deviasi Standar

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

3) Koefisien Variasi

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad (2.10)$$

4) Koefisien Skewness

$$C_s = \frac{a}{S^3} \quad (2.11)$$

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)} \quad (2.12)$$

## 5) Koefisien Kurtosis

$$Ck = \frac{n^2 \sum (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad (2.13)$$

## d. Distribusi Gumbel

Distribusi Gumbel digunakan untuk analisis data maksimum, misal untuk analisis frekuensi banjir (Fadrizal Lubis, 2016). Persamaan yang digunakan pada metode distribusi Gumbel sebagai berikut :

$$X_{TR} = \bar{X} + \frac{(Y_{TR} - Y_n) S}{S_n} \quad (2.14)$$

$$Y_{TR} = -\ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (2.15)$$

Keterangan :

$X_{TR}$  = Hujan maksimum dalam periode ulang T tahun

$Y_{TR}$  = Variabel reduksi

$Y_n$  = Variabel reduksi sebagai fungsi dari banyak data

$S_n$  = Reduksi standar deviasi

$S$  = Standar deviasi

$X$  = Nilai rata-rata

Tabel 2.6 Reduksi Standar Deviasi ( $S_n$ )

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
60	1.174	1.175	1.177	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	1.207	1.207	1.207	1.208	1.208	1.208	1.209	1.209	1.209	1.210
1000	1.270									

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2.7 Nilai Variabel Reaksi Gumbel (Yt)

Periode ulang	Reduce variate
2	0.3665
5	14.999
10	22.502
25	31.985
50	39.019
100	46.001
1000	69.000

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2.8 Reduce Mean (Yn)

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.495	0.499	0.503	0.507	0.51	0.51	0.513	0.52	0.522	0.522
20	0.523	0.523	0.526	0.528	0.53	0.53	0.532	0.533	0.535	0.535
30	0.536	0.537	0.538	0.538	0.54	0.54	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	0.55	0.5	0.55	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	0.56	0.5602	0.5603	0.5604	0.506	0.5607	0.5608	0.5609	0.561	0.5611
1000	0.575									

(Sumber : Suripin, 2004)

Selanjutnya ditentukan jenis sebaran yang tepat (mendekati) dengan syarat-syarat batas tertentu seperti pada tabel 2.9 dibawah ini :

Tabel 2.9 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

### 2.4.6 Uji Kecocokan

Uji keselarasan dimaksudkan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang nyata antara besarnya debit maksimum tahunan hasil pengamatan lapangan dengan hasil perhitungan. Uji keselarasan dapat dilaksanakan dengan uji Chi-kuadrat dan Smirnov Kolmogorov (Soewarno, 1991).

#### a. Uji Chi-kuadrat

Metode Uji Chi-Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter  $X^2$ , yang dapat dihitung dengan persamaan berikut (Suripin, 2004) :

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.16)$$

Keterangan :

$\chi^2$  = Nilai Chi-Kuadrat terhitung

$O_i$  = Jumlah data yang teramati terdapat pada sub kelas ke-i

$E_i$  = Jumlah data yang secara teoritis terdapat pada sub kelas ke-i

$n$  = Jumlah sub kelompok

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

$$dK = n - 3 \quad (2.17)$$

Parameter  $X^2$  merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai  $X^2$  sama atau lebih kecil dari pada nilai Chi-Kuadrat yang sebenarnya ( $X^2$ ). Dapat dilihat pada tabel 2.10 sebagai berikut :

Tabel 2.10 Nilai Kritis untuk Distribusi Chi-Kuadrat

dk	A							
	derajat kepercayaan							
	0.995	0.99	0.97	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.0000393	0.000157	0.000982	0.00393	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.01	0.0201	0.0506	0.103	5.991	7.378	9.21	10.597
3	0.0717	0.115	0.216	0.352	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	9.488	11.143	13.277	14.86

dk	A							
	derajat kepercayaan							
	0.995	0.99	0.97	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
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	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.7	3.325	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.94	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	22.362	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
16	5.142	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	27.587	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	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.26	9.591	10.851	31.410	34.170	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	42.980	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	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.92	41.113	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, tiap-tiap sub-kelompok minimal terdapat 4 data pengamatan;
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar  $O_i$  tiap-tiap sub-kelompok;
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar  $E_i$ ;

5. Tiap-tiap sub-kelompok hitung nilai :  $(O_i - E_i)^2$  dan  $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
6. Jumlah seluruh G sub-kelompok nilai  $\sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$  untuk menentukan nilai

Chi-Kuadrat hitung;

7. Tentukan derajat kebebasan  $D_k = K - (p+1)$  (nilai  $p = 2$ , untuk distribusi normal dan binomial, dan nilai  $p = 1$ , untuk distribusi Poisson) (Soewarno, 1995)

b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Metode uji Smirnov-Kolmogorov mencakup perbandingan antara probabilitas kumulatif lapangan dan distribusi kumulatif fungsi yang ditinjau. Uji kecocokan ini sering disebut uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Pengujian distribusi probabilitas dengan metode Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut (Suripin, 2004) :

1. Mengurutkan data ( $X_i$ ) dari yang besar ke kecil atau sebaliknya;
2. Menentukan peluang teoritis masing-masing data yang sudah diurut dengan rumus;
3. Menentukan peluang teoritis masing-masing data yang sudah diurut berdasarkan persamaan distribusi probabilitas yang dipilih;
4. Berdasarkan tabel nilai kritis (Smirnov – Kolmogorov test), tentukan nilai  $D_0$ .

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

N	Derajat Kepercayaan (a)			
	0.2	0.1	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29

N	Derajat Kepercayaan (a)			
	0.2	0.1	0.05	0.01
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.18	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
N > 50	<u>1.07</u>	<u>1.14</u>	<u>1.22</u>	<u>1.36</u>
	$\sqrt{N}$	$\sqrt{N}$	$\sqrt{N}$	$\sqrt{N}$

(Sumber : Suripin, 2004)

#### 2.4.7 Analisis Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit dan jam-jaman untuk membentuk lengkung IDF. Data hujan jenis ini hanya dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis. Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (*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 dimana tetapan-tetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang diukur.

$$I = \frac{a}{t+b} \quad ( 2.18 )$$

Keterangan :

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

T = Lamanya hujan (jam)

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

##### 2. 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. Rumus ini digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan setiap waktu berdasarkan data curah hujan harian.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad ( 2.19 )$$

Keterangan :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

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

### 3. Rumus Ishiguro

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

Keterangan :

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

T = Lamanya hujan (jam)

a & b = Konstanta

### 4. Rumus Sherman

Rumus ini mungkin cocok untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{t^n} \quad ( 2.21 )$$

Keterangan :

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

T = Lamanya Hujan (jam)

n = Konstanta

## 2.5 Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana merupakan debit banjir maksimum dari suatu sungai atau saluran yang besarnya didasarkan atau terkait dengan periode ulang tertentu. Perhitungan debit banjir merupakan salah satu bagian yang penting dalam melakukan berbagai analisis, baik analisis untuk desain infrastruktur seperti

bangunan air, kapasitas sungai, pembuatan bendung atau bendungan, jembatan, saluran drainase dan lain-lain (Badan Standarisasi Nasional, 2016). Oleh karena itu, maka diperlukan perhitungan dalam menentukan besar dari debit banjir tersebut.

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. Data yang diperlukan meliputi data batas dan pembagian daerah tangkapan air, tataguna lahan dan data hujan. Standar yang telah ditetapkan baik debit rencana dan cara analisis yang dipakai, tinggi jagaan, struktur saluran dll dapat dipakai dalam perencanaan saluran drainase (Mursitaningsih, 2009).

Tabel 2.12 Standar Desain Saluran Drainase

Luas DAS (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 rancangan drainase perkotaan umumnya dihitung dengan metode rasional. Hal ini karena daerah aliran tidak terlalu luas, kehilangan air sedikit dan waktu genangan relatif pendek. Rumus metode rasional :

$$Q = 0.00278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad ( 2.22 )$$

Keterangan :

- Q = Debit aliran limpasan ( $m^3 / \text{detik}$ )  
 C = Koefisien aliran yang tergantung pada jenis permukaan lahan  
 Tabel 2.14  
 I = Intensitas hujan (mm/jam)  
 A = Luas DAS (ha)  
 0.278 = Konstanta dalam perencanaan saluran drainase

### 2.5.1 Koefisien Limpasan (*Runoff*)

Koefisien limpasan untuk drainase perkotaan sangat dipengaruhi oleh daerah kedap air dan dirumuskan seperti berikut :

$$C = 0,9I_m + (1 - I_m)C_p \quad ( 2.23 )$$

Keterangan :

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

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

Koefisien limpasan dan rasio kedap air dapat dilihat pada tabel dibawah 2.13 ini :

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

Tata guna Lahan	Karakteristik	C	Im (%)	Keterangan
Pusat perbelanjaan dan perkantoran		0,90	100	Berkurang untuk bangunan tidak penuh
Industri	Bangunan penuh	0,80	80	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 tanah berat ( <i>heavy soil</i> ) Daerah irigasi	0	0	C = 0, 20;CN = 60
		0	0	C = 0,35;CN = 75
		0	0	C = 0,50;CN=85

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, SNI 2415-2016)

Nilai C komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$C_k = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n}{A_{TOTAL}} \quad ( 2.24 )$$

Koefisien limpasan juga dapat diperkirakan berdasarkan tata guna lahan dan kondisi permukaan lahan.

Tabel 2.14 Nilai Koefisien Limpasan Tata guna lahan

Karakteristik tanah	Tata guna lahan	Koefisien Limpasan (C)
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 Standarisasi Nasional, SNI 2415-2016)

Tabel 2.15 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan Kondisi Permukaan

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

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

### 2.5.2 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari satu titik terjauh dalam DTA sampai pada titik yang ditinjau (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi terpenuhi. Rumus yang digunakan untuk menghitung waktu konsentrasi adalah rumus Kirpich (Nurhamidin, 2015), sebagai berikut :

$$t_c = \left( \frac{(0,87 \cdot L^2)}{1000 \cdot S} \right)^{0,385} \quad ( 2.25 )$$

Keterangan :

$t_c$  = Waktu Konsentrasi (jam)

L = Panjang lintasan air dari titik terjauh sampai titik di tinjau (km)

S = Kemiringan rata - rata daerah lintasan air (m/m).

Waktu konsentrasi dapat juga dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen, yaitu waktu yang diperlukan air untuk mengalir di permukaan tanah sampai saluran terdekat ( $t_0$ ) dan waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran ( $t_d$ ) (Suripin, 2004), sehingga :

$$t_c = t_0 + t_d \quad ( 2.26 )$$

Dimana,

$$t_0 = \left[ \frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right] \quad \text{dan} \quad t_d = \frac{Ls}{60 \cdot V} \quad ( 2.27 )$$

Keterangan :

$t_0$  = Waktu pengaliran air yang mengalir di atas permukaan lahan menuju saluran (*inlet time*) dalam menit.

$t_d$  = Waktu pengaliran air yang mengalir disalam saluran sampai titik yang ditinjau (*conduit time*) dalam menit.

n = Angka kekasaran manning

Ls = Panjang lintasan aliran didalam saluran (m)

V = Kecepatan aliran dalam saluran (m/det)

Tabel 2.16 Kemiringan Rata-Rata Pada 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

Kemiringan Rata-rata (%)	Kecepatan Rata-rata (m/det)
10 sampai <15	2,4

(Sumber : Hasmar, 2011)

### 2.5.3 Intensitas Hujan

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

### 2.5.4 Luas Daerah Pengaliran

Luas daerah pengaliran adalah aliran yang jatuh dalam suatu daerah tangkapan air yang luas daerah pengalirannya di hitung berdasarkan *catchment area* tersebut yang masuk menjadi beban pada saluran drainase. (Riyanto n.d., 2020)

## 2.6 Analisis Hidrolika

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

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).

### 2.6.1 Bentuk Saluran Drainase

Saluran untuk drainase tidak terlampau jauh berbeda dengan saluran air lain pada umumnya. Perancangan dimensi saluran harus diusahakan dapat

memperoleh dimensi tampang yang ekonomis. Dimensi saluran yang terlalu besar berarti tidak ekonomis, sebaliknya dimensi saluran yang terlalu kecil tingkat kerugian akan besar. Dimensi yang ekonomis adalah saluran yang dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar saluran tertentu (Tejakusuma, 2018)

$$Q_{sal} = V_{sal} \cdot A_{sal}$$

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

Keterangan:

$Q_{sal}$  = Debit pada saluran ( $m^3 /det$ )

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

$A_{sal}$  = Luas penampang basah ( $m^2$ )

$n$  = Koefisien kekasaran manning

$R$  = Jari-jari hidrolis (m)

$S_{sal}$  = Kemiringan dasar saluran

### 2.6.2 Kapasitas Saluran

Besarnya kapasitas saluran drainase dapat ditentukan berdasarkan dimensi saluran pada peta jaringan drainase. Kapasitas saluran dapat dihitung dengan menggunakan rumus kontinuitas sebagai berikut.

$$Q = V \cdot A \quad ( 2.28 )$$

Keterangan :

$Q$  = Debit aliran dalam saluran ( $m^3/det$ )

$V$  = Kecepatan aliran dalam saluran ( $m/det$ )

$A$  = Penampang basah saluran ( $m^2$ )

### 2.6.3 Kecepatan Aliran

Penentuan kecepatan aliran air didalam saluran yang direncanakan didasarkan pada kecepatan minimum yang diperbolehkan agar konstruksi saluran tetap aman dan kecepatan maksimum yang diperbolehkan tidak akan menimbulkan penggerusan pada bahan saluran (Tejakusuma, 2018).

Tabel 2.17 Kecepatan aliran yang diizinkan

No.	Jenis Bahan	V yang diizinkan (m/det)
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 : Suripin, 2004)

Tabel 2.18 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

(Sumber : Hasmar, 2011)

Kecepatan saluran dihitung berdasarkan persamaan Manning sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad ( 2.29 )$$

Keterangan :

V = Kecepatan aliran (m/detik)

n = Koefisien kekasaran manning

R = Jari – jari hidrolis (m)

S = kemiringan dasar saluran

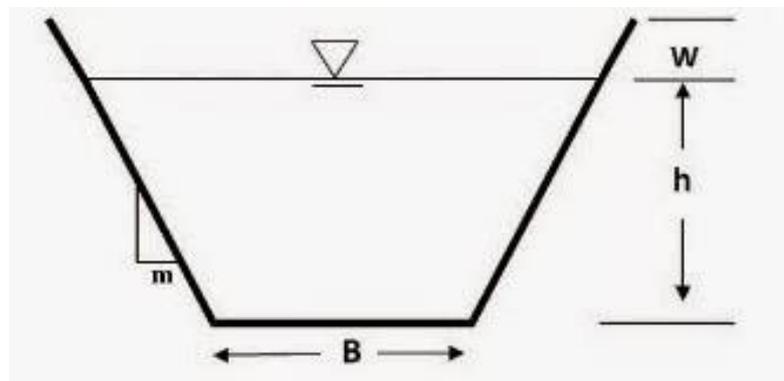
#### 2.6.4 Penampang Saluran

Saluran untuk drainase tidak terlampau jauh berbeda dengan saluran air lain pada umumnya. Perancangan dimensi saluran harus diusahakan dapat memperoleh dimensi tampang yang ekonomis. Dimensi saluran yang terlalu besar berarti tidak ekonomis, sebaliknya dimensi saluran yang terlalu kecil tingkat kerugian akan besar. Dimensi yang ekonomis adalah saluran yang dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar saluran tertentu (Tejakusuma, 2018)

Adapun bentuk-bentuk saluran dan rumus-rumusnya :

##### 1. Bentuk Trapesium

Saluran drainase bentuk trapesium berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan dengan debit yang besar. Sifat alirannya terus menerus dengan fluktuasi yang kecil. Bentuk saluran ini dapat digunakan pada daerah yang masih cukup tersedia lahan.



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

- Luas penampang basah trapesium

$$A = (B + mh)h \quad ( 2.30 )$$

- Keliling basah trapesium

$$P = B + 2h\sqrt{1 + m^2} \quad ( 2.31 )$$

- Jari – jari hidrolis trapesium

$$R = \frac{(B + mh)h}{B + 2h\sqrt{1 + m^2}} \quad (2.32)$$

- Lebar puncak

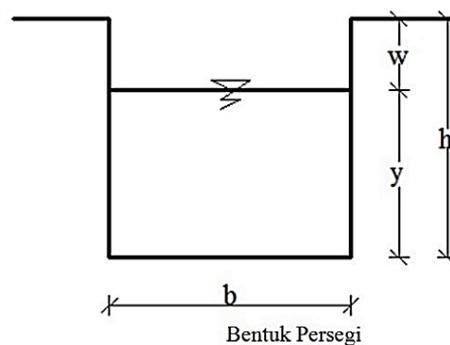
$$T = B + 2mh \quad (2.33)$$

- Faktor penampang

$$z = \frac{(B + mh)h^{1.5}}{\sqrt{B + 2mh}} \quad (2.34)$$

## 2. Bentuk Persegi

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



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

- Luas Penampang basah persegi

$$A = b \cdot y \quad (2.35)$$

- Keliling basah persegi

$$P = b + 2y \quad (2.36)$$

- Jari – jari hidrolis persegi

$$R = A / P \quad (2.37)$$

- Debit Aliran

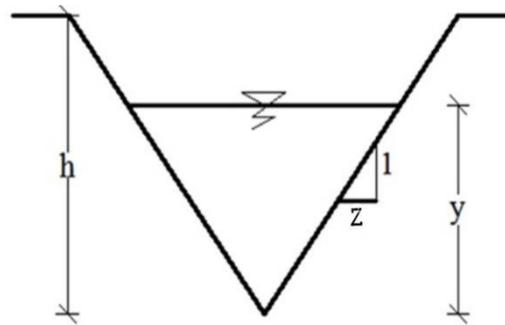
$$Q = A \times V \quad (2.38)$$

- Tinggi jagaan

$$w = \sqrt{0,5 \cdot y} \quad ( 2.39 )$$

### 3. Bentuk 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 2.6 Saluran Bentuk Segitiga  
(Sumber : Suripin, 2004)

- Luas Penampang basah segitiga

$$A = zy^2 \quad ( 2.40 )$$

- Keliling basah segitiga

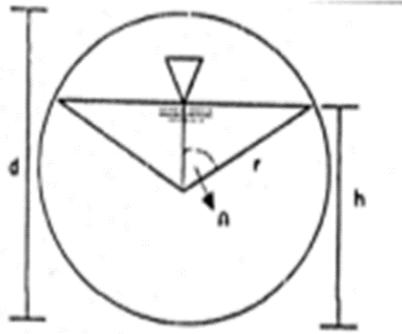
$$P = zy\sqrt{1+z^2} \quad ( 2.41 )$$

- Jari-jari hidrolis segitiga

$$R = \frac{zh}{2\sqrt{1+z^2}} \quad ( 2.42 )$$

### 4. Bentuk Lingkaran

Saluran bentuk ini berupa berupa saluran dari pasangan atau kombinasi pasangan dan pipa beton. Dengan bentuk dasar saluran yang bulat memudahkan pengangkutan bahan endapan/limbah. Bentuk saluran demikian berfungsi sebagai saluran air hujan, air rumah tangga, maupun air irigasi.



Gambar 2.7 Saluran Bentuk Lingkaran  
(Sumber : Suripin, 2004)

- Luas penampang basah Lingkaran

$$A = \frac{1}{2}(\theta - \sin \phi)d^2 \quad (2.43)$$

- Keliling basah Lingkaran

$$P = \frac{1}{2}\phi d \quad (2.44)$$

- Jari – jari hidrolis Lingkaran

$$R = \frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin \phi}{\phi}\right)d \quad (2.45)$$

### 2.6.5 Kekasaran Saluran

Koefisien Kekasaran Saluran tergantung dari jenis bahan material saluran, baik berupa saluran tanah maupun dengan pasangan. Nilai koefisien manning dapat dilihat pada tabel 2.19 dibawah ini :

Tabel 2.19 Koefisien Kekasaran *Manning* (n) pada 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	0,023	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	0,035	0,040	0,045	0,045

No.	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
	lurus, tidak teratur				
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
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 tumbuh – 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 Buatan, 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

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

### 2.6.6 Kemiringan Dasar Saluran

Kemiringan saluran adalah kemiringan dasar saluran dan kemiringan dinding saluran. Kemiringan dasar saluran disini adalah kemiringan dasar saluran arah memanjang dimana umumnya dipengaruhi oleh kondisi topografi, serta tinggi tekanan yang diperlukan untuk adanya pengaliran sesuai dengan kecepatan yang diizinkan. Kemiringan dasar saluran maksimum yang diperbolehkan adalah

0,005 – 0,008 tergantung pada bahan saluran yang digunakan. Kemiringan yang lebih curam dari 0,002 bagi tanah lepas sampai dengan 0,005 untuk tanah padat akan menyebabkan erosi (penggerusan) (Hasmar, 2011).

Table 2.20 Kemiringan dinding saluran yang sesuai untuk jenis material

Bahan saluran	Kemiringan dinding
Batuan	Mendekati vertikal
Tanah lumpur	0,25 : 1
Lempung keras/tanah dengan lapisan beton	(0,25 – 1) : 1
Tanah dengan pasangan batu/tanah untuk saluran besar	1 : 1
Lempung/tanah untuk saluran-saluran kecil	1,5 : 1
Tanah berpasir lepas	2 : 1
Lumpur berpasir/lempung porous	3 : 1

(Sumber : Suripin, 2004)

### 2.6.7 Tinggi Jagaan

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

$$W = \sqrt{0,5 \cdot h} \quad ( 2.46 )$$

Keterangan :

W = Tinggi jagaan (m)

h = Tinggi muka air (m)

Tabel 2.21 Kemiringan saluran berdasarkan jenis material

Jenis Material	Kemiringan Dinding Saluran (%)
Tanah Asli	0 – 5
Kerikil	5 – 7,5
Pasangan	7,5

(Sumber : Hasmar, 2011)

## 2.7 Komponen Aplikasi EPA SWMM 5.1

EPA SWMM (*Environmental Protection Agency Storm Water Management Model*) adalah model yang digunakan untuk merencanakan, menganalisis dan mendesain suatu model yang berhubungan dengan limpasan air hujan dan sistem drainase pada area perkotaan. Aplikasi model SWMM ini dapat digunakan untuk beberapa hal antara lain perencanaan dan dimensi jaringan pembuang untuk pengendalian banjir serta perencanaan daerah penahan sementara untuk pengendalian banjir. Selain itu juga dapat digunakan untuk pemetaan daerah genangan banjir.

Program SWMM bersifat gratis (*public domain*) yang telah beredar sejak Juli 2009. Program SWMM tersedia di website resmi *United States Environmental Protection Agency* (US EPA). Pemilihan *software* EPA SWMM dalam penelitian ini karena mampu mensimulasikan antara hidrologi dan hidrolika dalam sekali *running*. Sedangkan *software* yang setara hanya mampu mensimulasikan satu komponen saja, hidrologi atau hidrolika. Kemampuan *software* EPA SWMM yang lainnya adalah sebagai berikut:

- a. Tangkai jaringan dengan ukuran tidak terbatas,
- b. Menggunakan standar yang luas untuk menutup dan membuka saluran seperti halnya saluran alami,
- c. Model khusus seperti penyimpangan, pembagi aliran, pompa, bendungan,
- d. Penerapan air dan masukan arus eksternal berkualitas dari permukaan aliran, aliran bawah tanah,
- e. Penggunaan gelombang baik kinematik maupun arus gelombang yang penuh,
- f. Berbagai macam arus, seperti air yang tertahan karena pasang, pembalikan arus dan permukaan kolam,
- g. Menerapkan kendali dinamis untuk menirukan operasi pompa mulut yang membuka dan tingkatan puncak bendungan.

*Software* EPA SWMM dapat mensimulasikan limpasan yang terjadi dengan *input* data pada objek yang tersedia pada aplikasi EPA SWMM sebagai berikut :

### 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 *subcatchment* area pada studi wilayah (Manual EPA SWMM).

### 2. Daerah Tangkapan Air (*Subcatchment*)

*Subcatchment* adalah daerah unit hidrologi dari tanah dimana topografi dan element sistem drainase menunjukan permukaan *runoff* pada satu titik pelepasan (Manual EPA SWMM). Data yang dimasukkan dalam *subcatchment* adalah sebagai berikut :

- a. *Rain gage* (nama rain gage yang digunakan)
- b. Outlet (nama node yang menerima *run off subcatchment*)
- c. Area (luas *subcatchment*)
- d. Width (panjang pengaliran)
- e. % Slope (persentase kemiringan *subcatchment*)
- f. % Impervious (persentase kedap air, dilihat dari peta tata guna lahan misalnya jalan beraspal, rumah tinggal, pabrik dll)
- g. N-Impervious (koefisien n manning untuk aliran permukaan di daerah *impervious*)
- h. N-Perviousness (koefisien n manning untuk aliran permukaan di daerah *perviousness*).
- i. % *Zero imperviousness* (persentase dari *impervious* area tanpa *depression storage*)
- j. *Infiltration* (pilihan untuk metode perhitungan infiltrasi dan parameteranya)

### 3. *Junction Nodes*

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

### 4. Saluran (*Conduit*)

*Conduit* adalah saluran yang mengalirkan air. SWMM menggunakan rumus Manning untuk menyatakan hubungan antara debit (Q), luas penampang (A), jari-jari hidraulis (R), dan kemiringan (S).

### 5. Pembuangan (*Outfall*)

*Outfall* adalah titik paling akhir dari sistem drainase biasanya ditetapkan akhir dari batas hilir dengan menginputkan data elevasi dari saluran pembuang (Manual EPA SWMM 5.1).

### 6. Unit Penyimpanan (*Storage units*)

*Storage units* adalah penyediaan volume tampungan. Fasilitas tampungan dapat sekecil kolam atau sebesar danau. *Storage* mempunyai fungsi sebagai pengendalian atau pencegahan banjir. Kapasitas *storage* sendiri dapat diasumsikan kapasitas *max depth* sesuai kebutuhan agar *storage* dapat mengendalikan bajir. (Manual EPA SWMM 5.1).

### 7. Pompa (*Pumps*)

*Pumps* digunakan untuk menaikkan air atau meninggikan elevasi air. Hidup dan mati pompa dapat diatur secara dinamik sepanjang pengaturan kontrol yang telah ditetapkan oleh pengguna.

### 8. *Flow regulators*

*Flow regulators* adalah struktur atau sarana yang digunakan untuk mengontrol atau mengalihkan aliran dalam sistem pengaliran. Umumnya digunakan untuk :

- a. Mengatur aliran keluar dari tampungan atau kolam.
- b. Mencegah penggenangan yang tidak diinginkan.
- c. Mengalihkan aliran kepada unit pengolahan air.

## 2.8 Uji 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.

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 :

$$K = \frac{Q}{2\pi H^3} (H \log e \left[ \left(\frac{H}{r}\right) + \sqrt{1 + \left(\frac{H}{r}\right)^2} \right] - \sqrt{r^2 + H^2} + r) \quad ( 2.47 )$$

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)

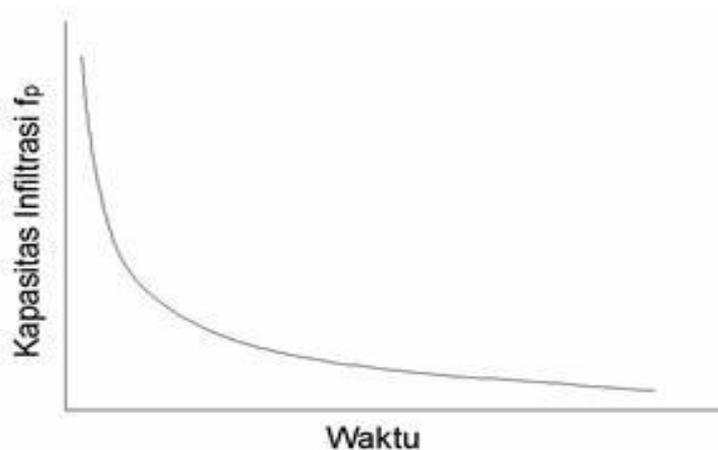
### 2.8.1 Pengujian Dilapangan

Dalam pengujian nilai permeabilitas di lapangan terdapat beberapa tahapan, 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 ±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.

### 2.8.2 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. 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 : Triatmodjo, 2010)

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.

### 2.8.3 Infiltrasi Metode Horton

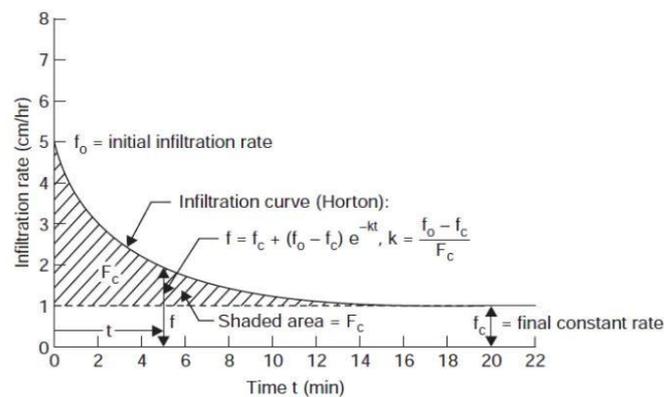
Pengujian infiltrasi tanah dilakukan dengan Metode Horton. Menurut Horton kapasitas infiltrasi berkurang seiring dengan bertambahnya waktu hingga mendekati nilai yang konstan. Ia menyatakan pandangannya bahwa penurunan kapasitas infiltrasi lebih dikontrol oleh faktor yang beroperasi di permukaan tanah 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.

$$f = f_c + (f_0 - f_c) x e^{-kt} \quad ( 2.48 )$$

Keterangan :

- f = Laju infiltrasi (cm/jam) atau (mm/jam)
- f<sub>0</sub> = Laju infiltrasi awal (cm/jam)
- f<sub>c</sub> = 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 : Triatmodjo, 2010)

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 2.60 menunjukkan bahwa jumlah air yang terinfiltrasi  $F(t)$  merupakan intergral 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 infltrasi Horton diatas kemudian diintergralkan seperti pada persamaan berikut.

$$f = f \int_0^t + (f_0 - f_c) x e^{-kt} dt \quad ( 2.49 )$$

$$f = f_0 + (f_c - f_0)(1 - e^{-kt}) \quad ( 2.50 )$$

## 2.9 Drainase

Drainase yang berasal dari bahasa Inggris drainage mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan/lahan, sehingga fungsi kawasan/lahan tidak terganggu. Drainase dapat juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas. Jadi, drainase menyangkut tidak hanya air permukaan tapi juga air tanah (Suripin, 2004).

Menurut Suripin (2004), drainase merupakan serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Dalam melakukan perencanaan sistem drainase perkotaan perlu memperhatikan beberapa aspek, yaitu: (SNI 02-2406-1991)

- a. Sistem drainase terdiri atas saluran primer, sekunder, dan primer;
- b. Berdasarkan sistem penyalurannya, drainase perkotaan direncanakan terpisah dengan saluran pembuangan air limbah; dan
- c. Saluran drainase dapat direncanakan terbuka dan tertutup dengan mempertimbangkan faktor ketersediaan tanah, pembiayaan, operasi dan pemeliharaan.

Sistem drainase perkotaan adalah prasarana yang terdiri dari kumpulan sistem saluran di dalam kota yang berfungsi mengeringkan lahan perkotaan dari banjir/genangan akibat hujan dengan cara mengalirkan kelebihan air permukaan ke badan air melalui sistem saluransaluran tersebut. (Karya, 2012).

## 2.10 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 (ekodrainase) 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 kampung Paozan.

### **2.10.1 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.

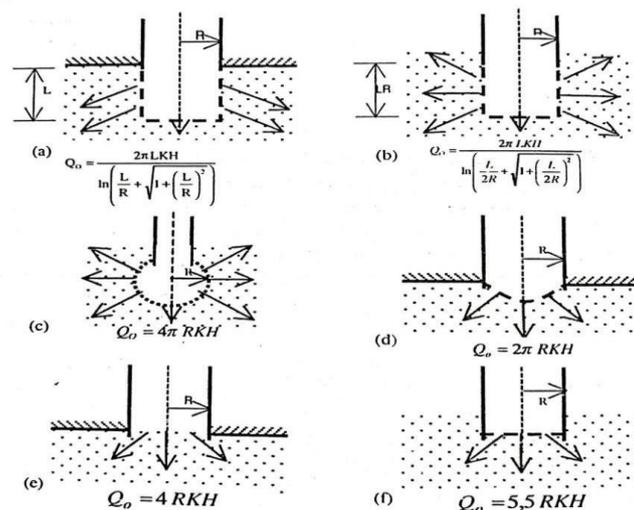
Dalam proses perencanaan pembangunan sumur resapan harus memperhatikan ukuran atau dimensi sumur yang diperlukan untuk suatu lahan atau kavling yang bergantung pada beberapa faktor, sebagai berikut :

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 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 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  
(Sumber : Sujonto,1998)

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 (Sujonto, 1988). Persamaannya adalah :

$$H = \frac{Q}{K} (1 - e^{-\frac{FKT}{\pi R^2}}) \quad ( 2.51 )$$

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

$$Q = F.K.H \quad ( 2.52 )$$

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.

### 2.10.1.1 Kontruksi Sumur Resapan

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

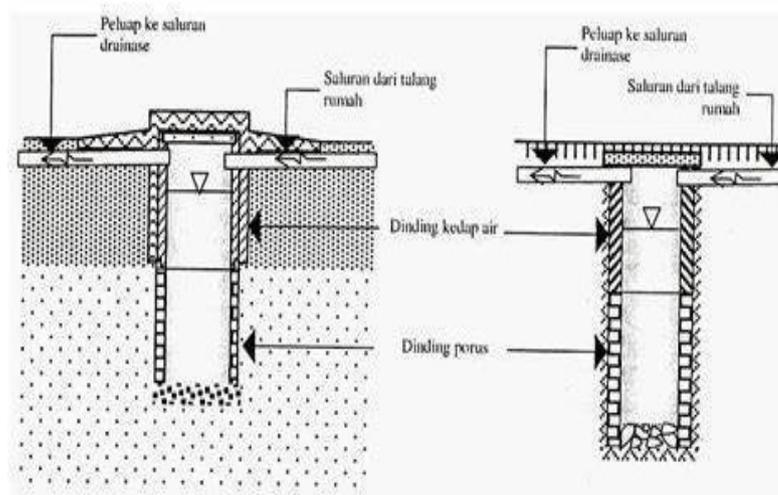
Tabel 2.22 Petunjuk Teknis Tata Cara Penerapan Sumur Resapan

No	Bahan Sumur Resapan Air Hujan	Komponen
1	Petunjuk Teknis Tata Cara Penerapan Drainase Berwawasan Lingkungan di Kawasan Permukiman, 2002.	Penutup sumur

No	Bahan Sumur Resapan Air Hujan	Komponen
2	Plat beton tidak bertulang tebal 10 cm, campuran 1 : 2 : 3 berbentuk cubung dan tidak diberi beban di atasnya	Penutup sumur
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 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. Tipe ini diterapkan pada



Gambar 2.11 Salah Kontruksi Sumur Resapan  
(Sumber : Sujonto,1998)

### 2.10.1.2 Persyaratan Sumur Resapan

Persyaratan umum sumur resapan yang harus dipenuhi berdasarkan (Badan Standarisasi Nasional, 2016) 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.

### **2.10.1.3 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.

### **2.10.2 Metode Kolam Retensi**

Kolam retensi adalah prasarana drainase yang berfungsi untuk menampung dan meresapkan air hujan di suatu wilayah. 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.

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. Berikut parameter yang digunakan:

$$a_2 = I_1 + I_2 + \beta_1 \quad ( 2.53 )$$

$$S = K \cdot O \quad ( 2.54 )$$

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:

$$Q = C_d B H^{\frac{3}{2}} \quad ( 2.55 )$$

Keterangan:

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

$C_d$  = Koefisien debit = 1,7

$B$  = Lebar bangunan pelimpah (m)

$H$  = Tinggi peluapan (m)

## 2.11 Rencana Anggaran Biaya

Setiap kegiatan konstruksi membutuhkan sumber daya yang sesuai untuk proyek tersebut implementasi, kita tahu bahwa setiap sumber daya membutuhkan uang. Rencana anggaran biaya atau lebih dikenal dengan RAB, merupakan estimasi nilai proyek yang diperkirakan tidak akan sama dengan proyek lain waktu berbeda.

Menurut (Erviyanto, W, 2022), 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 46.
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.

### **2.11.1 *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 47 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

### **2.11.2 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.

### **2.11.3 *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.

### **2.11.4 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 48 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.

### **2.11.5 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.