

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Banjir

Banjir merupakan salah satu masalah yang sering terjadi di Indonesia, khususnya pada musim hujan. Permasalahan ini hampir setiap tahun berulang, bahkan cenderung mengalami peningkatan dari segi frekuensi, luasan, kedalaman, dan durasi (Sadewo & Sutoyo, 2018). Banjir adalah suatu kondisi dimana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuang atau terhambatnya aliran air didalam saluran, sehingga meluap menggenangi daerah sekitarnya. Secara umum penyebab banjir diklasifikasikan dalam 2 kategori, yaitu banjir yang disebabkan oleh sebab-sebab alami dan banjir disebabkan oleh tindakan manusia (Jumhasla Putra et al., 2018).

#### 2.2 *Catchment Area*

*Catchment area* adalah daerah cakupan/tangkapan apabila terjadi hujan. Semakin besar *catchment area* maka semakin besar pula debit yang terjadi. Prinsip dasar dari penentuan daerah tangkapan adalah dengan prinsip beda tinggi. Air akan mengalir dari tempat tinggi ke tempat yang lebih rendah. Untuk kawasan yang cenderung datar pembagian *catchment area* dapat diasumsikan terbagi rata pada tiap sisi menuju saluran drainase. Untuk daerah-daerah berbukit, penentuan *catchment area* berpatokan pada titik tertinggi, yang kemudian akan mengalir ke tempat yang rendah berdasarkan alur topografi (Nurhamidin et al., 2015).

#### 2.3 Drainase

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 tersebut tidak terganggu. Berdasarkan tujuan dan sarannya, drainase dibagi menjadi beberapa bagian salah satunya drainase perkotaan. “Drainase perkotaan memfokuskan pada pengeringan atau pengaliran air dari wilayah perkotaan menuju sungai yang melintasi wilayah perkotaan” (Wesli, 2019). Drainase yang dirancang haruslah memenuhi seluruh aspek yang mempengaruhi, sehingga drainase dapat bekerja secara maksimal dan dapat menanggulangi genangan maupun banjir yang terjadi.

## **2.4 Analisis Hidrologi**

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

### **2.4.1 Hujan Kawasan**

Data hujan yang diperoleh dari alat hujan merupakan hujan yang hanya terjadi pada satu tempat atau satu titik saja. Hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan sangat luas tidak bisa diwakili satu titik pos pengukuran. Hujan kawasan diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa pos pengukuran hujan yang ada di 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.

a. Rata-rata Aritmatika

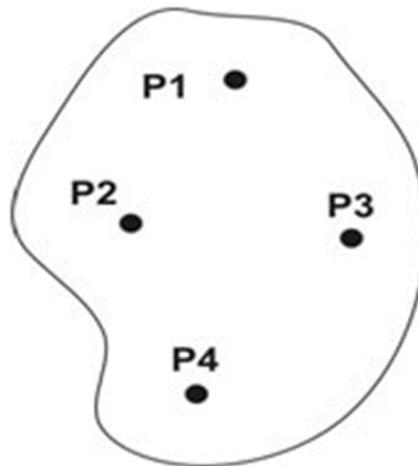
Metode rata-rata aritmatika ini merupakan metode yang paling sederhana dan diperoleh dengan menghitung rata-rata aritmatika dari semua total penakar hujan disuatu kawasan. Metode ini sesuai dengan kawasan-kawasan yang datar dan sesuai dengan DAS-DAS dengan jumlah penakar hujan yang besar yang di distribusikan secara merata pada lokasi-lokasi yang mewakili (Triatmodjo, 2006).

$$\bar{p} = \frac{P1 + P2 + \dots + Pn}{n} \quad (2.1)$$

Keterangan :

P = Hujan rerata kawasan

n = Jumlah stasiun



Gambar 2.1 Metode Rata-rata Aritmatika

(Sumber : Suripin, 2004)

b. Metode *Polygon Thiessen*

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing alat pengukur hujan yang mewakili luasan di sekitarnya. Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Dalam

suatu luasan di suatu DAS (Daerah Aliran Sungai) dianggap bahwa hujan di tempat tersebut sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat di suatu titik mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan, bila penyebaran stasiun hujan di suatu daerah yang ditinjau tidak merata.

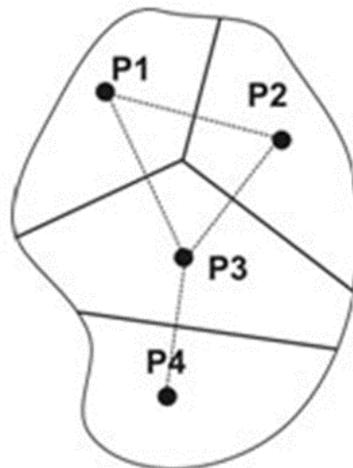
$$\bar{p} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$\bar{p}$  = Hujan rerata kawasan

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

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



Gambar 2.2 Metode *Polygon Thiessen*

(Sumber : Suripin, 2004)

c. Garis Isohyet

Metode isohyet ini memungkinkan perhitungan presipitasi dengan bantuan isohyet yang digambarkan pada kawasan tersebut. Metode ini merupakan yang paling teliti, karena metode mempertimbangkan sejumlah faktor seperti relief dan aspek. Metode ini sangat baik digunakan pada kawasan bergunung dan memerlukan

keterampilan. Peta isohyet dapat beragam dari satu pengeplot dengan yang lain dan membutuhkan stasiun pengamat didekat kawasan tersebut dan bermanfaat untuk curah hujan yang singkat.

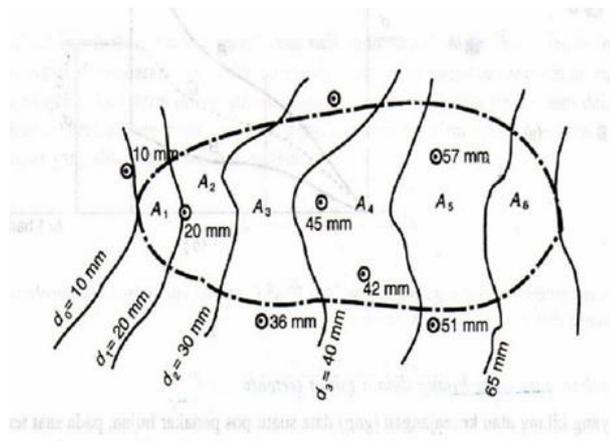
$$\bar{p} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + A_3 \frac{I_3 + I_4}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_n}{2}}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

Keterangan :

P = Hujan rerata kawasan

I<sub>n</sub> = Curah hujan pada masing-masing stasiun

A<sub>n</sub> = Luas area dari titik I



Gambar 2.3 Metode Isohyet

(Sumber : Dr. Ir. Suripin, 2020)

Pemilihan metode yang cocok didasarkan pada tiga faktor yaitu jaring-jaring pos penakar hujan, luas DAS dan topografi DAS (Suripin, 2004) :

Tabel 2.1 Pemilihan Metode Berdasarkan Jaring-Jaring Pos Penakar Hujan

Jumlah Pos Penakar	Metode yang digunakan
Pos Penakar Hujan Cukup	Rerata Aritmatik, Isohyet dan Poligon Thiessen
Pos Penakar Hujan Terbatas	Rerata Aritmatik 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>DAS>5000 km <sup>2</sup> )	Metode Poligon Thiessen
DAS kecil (<500 km <sup>2</sup> )	Metode Rerata Aritmatik

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2.3 Pemilihan Metode Berdasarkan Topografi DAS

Jenis Topografi DAS	Metode yang digunakan
Pegunungan	Metode Rerata Aritmatik
Dataran	Metode Poligon Thiessen
Bukit tidak beraturan	Metode Isohyet

(Sumber : Suripin, 2004)

#### 2.4.2 Analisis Frekuensi

Dalam mendesain bangunan drainase perlu memperkirakan debit air rencana maksimum guna bertujuan agar bangunan drainase yang direncanakan bisa menampung debit air pada waktu terjadi debit maksimum. Analisis statistik merupakan hujan atau debit yang akan datang untuk mendapatkan probabilitas besaran hujan diwaktu akan datang. Metode yang digunakan antara lain distribusi Normal, distribusi Log Normal, distribusi Gumbel dan distribusi Log Pearson III.

##### a. Distribusi Normal

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

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

Keterangan :

$X_T$  = Hujan maksimum dalam periode ulang T tahun

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

$S$  = Deviasi standar nilai variat

$K_T$  = Faktor reduksi gauss

Tabel 2.4 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	$K_T$
1	1,001	0,999	-3,05
2	1,005	0,995	-2,58
3	1,010	0,990	-2,33
4	1,050	0,950	-1,64
5	1,110	0,900	-1,28
6	1,250	0,800	-0,84
7	1,330	0,750	-0,67
8	1,430	0,700	-0,52
9	1,670	0,600	-0,52
10	2,000	0,500	0
11	2,500	0,400	0,25
12	3,330	0,300	0,52
13	4,000	0,250	0,67
14	5,000	0,200	0,84
15	10,000	0,100	1,28
16	20,000	0,050	1,64
17	50,000	0,020	2,05
18	100,000	0,010	2,33
19	200,000	0,005	2,58
20	500,000	0,002	2,88
21	1000,000	0,001	3,09

(Sumber : Suripin, 2004)

b. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritma varian X. Perhitungan curah hujan rencana menggunakan persamaan berikut ini.

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

Keterangan :

X = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan

S = Nilai rata-rata hitung variat

$K_T$  = Faktor reduksi gauss

c. Distribusi Log Person Type III

Distribusi Log Person Type III setiap data dikonversikan menjadi bentuk logaritma :

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

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

Keterangan :

$X_T$  = Hujan maksimum dimana periode ulang tahunan

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

$S$  = Deviasi standar nilai variat

$K_T$  = Frekuensi factor

Tabel 2.5 Nilai  $K_T$  Metode Log Person Type III

No	Koef G	Interval kejadian ( <i>Recurrence interval</i> ), tahun (periode ulang)					
		2	5	10	25	50	100
		Persentase peluang Terlampaui					
		50	20	10	4	2	1
1	3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,501
2	2,8	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
3	2,6	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889
4	2,4	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
5	2,2	-0,333	0,574	1,264	2,240	2,970	3,705
6	2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605
7	1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
8	1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
9	1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
10	1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
11	1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
12	0,8	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
13	0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
14	0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
15	0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,471
16	0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
17	-,02	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
18	-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
19	-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
20	-0,8	0,132	0,132	0,856	1,389	1,448	1,733
21	-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
22	-1,2	0,195	0,844	1,068	1,282	1,379	1,449
23	-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318

No	Koef G	Interval kejadian ( <i>Recurrence interval</i> ), tahun (periode ulang)					
		2	5	10	25	50	100
		Persentase peluang Terlampaui					
		50	20	10	4	2	1
24	-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,1297	1,197
25	-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
26	-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	1,990
27	-2,2	0,333	0,725	0,884	0,888	0,900	1,950
28	-2,4	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
29	-2,6	0,368	0,969	0,747	0,74	1,768	0,769
30	-2,8	0,384	0384	0,666	0,711	0,712	0,714
31	-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

(Sumber : Suripin, 2004)

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 *disperse*. Cara mengukur besarnya variasi atau *disperse* disebut dengan pengukuran variabilitas atau pengukuran *disperse*. Beberapa macam cara dalam pengukuran *disperse* 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

$$Cv = \frac{S}{x} \quad (2.10)$$

4. Koefisien *Skewness*

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)} \quad (2.11)$$

$$Cs = \frac{a}{S^3} \quad (2.12)$$

### 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 ini menggunakan harga ekstrim dan biasanya digunakan untuk analisa data maksimum. Adapun persamaannya sebagai berikut :

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

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

Keterangan :

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

$Y_{TR}$  = Reduce mean

$Y_n$  = Reduce mean

$S_n$  = Reduce standard deviation

$S$  = Standar deviasi

$X$  = Nilai rata-rata

Tabel 2.6 Reduce Mean, Yn

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,495	0,499	0,503	0,507	0,510	0,510	0,513	0,520	0,522	0,552
20	0,523	0,523	0,526	0,528	0,530	0,530	0,532	0,533	0,535	0,535
30	0,536	0,537	0,538	0,538	0,540	0,540	0,541	0,541	0,543	0,543
40	0,543	0,544	0,544	0,545	0,546	0,546	0,546	0,547	0,548	0,548
50	0,546	0,549	0,549	0,549	0,550	0,550	0,550	0,551	0,551	0,551

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	0,532	0,552	0,552	0,553	0,553	0,553	0,553	0,554	0,554	0,554
70	0,534	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,556	0,556	0,556
80	0,536	0,557	0,557	0,557	0,557	0,558	0,558	0,558	0,558	0,558
90	0,558	0,558	0,558	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559
100	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,561	0,561	0,561

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2.7 *Reduce Standard Deviation, Sn*

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,949	0,937	0,988	0,997	1,009	1,020	1,103	1,041	1,049	1,036
20	1,062	1,069	1,073	1,081	1,086	1,091	1,096	1,100	1,104	1,108
30	1,112	1,113	1,119	1,122	1,125	1,128	1,131	1,133	1,136	1,138
40	1,141	1,143	1,145	1,148	1,149	1,157	1,153	1,155	1,137	1,139
50	1,160	1,162	1,163	1,163	1,166	1,168	1,169	1,170	1,172	1,173
60	1,174	1,175	1,117	1,177	1,179	1,180	1,184	1,182	1,183	1,184
70	1,185	1,186	1,186	1,187	1,189	1,190	1,196	1,191	1,192	1,193
80	1,194	1,194	1,195	1,195	1,197	1,197	1,198	1,199	1,199	1,200
90	1,201	1,201	1,202	1,202	1,203	1,204	1,204	1,205	1,205	1,206
100	1,206	1,206	1,207	1,207	1,208	1,208	1,208	1,209	1,209	1,209

(Sumber : Suripin, 2004)

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

No	Periode Ulang, Tr (Tahun)	Reduced Variate, Y <sub>TR</sub>
1	2	0,3668
2	5	1,5004
3	10	2,2510
4	20	2,9709
5	25	3,1993
6	50	3,9028
7	75	4,3117
8	100	4,6012
9	200	5,2969
10	250	5,5206
11	500	6,2149
12	1000	6,9037
13	5000	8,5188
14	10000	9,2121

(Sumber : Suripin, 2004)

Analisis frekuensi didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang (Fuat, 2015).

Parameter-parameter statistik yang digunakan adalah (Suripin, 2004) :

a. Rata-rata

$$\text{Log } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log} x_i}{n} \quad (2.16)$$

b. Standar Deviasi

$$S = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log} x_i - \text{Log } \bar{x})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (2.17)$$

(Soewarno, 1995)

c. Koefisien *Skewness* (Koefisien Kepencengan)

Kepencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi.

$$G = C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (2.18)$$

(Soewarno, 1995)

Tabel 2.9 Syarat-syarat Batas Penentuan Sebaran

No	Distribusi	Syarat
1	Normal	Cs ≈ 0
		Ck ≈ 3
2	Log Normal	Cs = Cv <sup>3</sup> + 3Cv
		Ck = Cv <sup>8</sup> + 6Cv <sup>6</sup> + 15Cv <sup>4</sup> + 16Cv <sup>2</sup> + 3
3	Gumbel	Cs = 1,14
		Ck = 5,4
4	Log Person III	Selain dari nilai diatas

(Sumber : Suripin, 2004)

### 2.4.3 Uji Kecocokan

Untuk menentukan pola distribusi dan debit rata-rata yang paling sesuai dengan distribusi statistik yang telah dilakukan, maka dilakukan uji kecocokan. Uji

kecocokan digunakan untuk menguji dan memilih metode yang terbaik untuk perhitungan selanjutnya. Pengujian ini dilakukan terhadap data curah hujan dengan memperhitungkan frekuensi terjadinya hujan. Pengujian parameter yang sering digunakan adalah :

a. Uji Chi-Kuadrat

“Uji Chi-Kuadrat dilakukan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis” (Suripin, 2004). Yang dapat dilihat dalam rumus berikut :

$$x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} \quad (2.19)$$

(Soewarno, 1995)

Dalam hal ini :

$X^2$  = Parameter Chi-Kuadrat

$n$  = Jumlah sub kelompok

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

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

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 berikut :

Tabel 2.10 Nilai Kritis untuk Distribusi Chi-Kuadrat

Dk	$\alpha$ (Derajat Kepercayaan)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,000039	0,000016	0,000098	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,789
2	0,01	0,201	0,051	0,103	5,991	7,378	9,21	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,86
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,07	12,832	15,086	16,75
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548

Dk	$\alpha$ (Derajat Kepercayaan)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
7	0,989	1,239	1,69	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,18	2,733	15,507	17,535	20,09	21,995
9	1,735	2,088	2,7	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,94	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,92	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,3
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,326	24,736	27,388	29,819
14	4,075	4,66	5,629	6,571	23,685	26,119	19,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,448	20,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32	34,276
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,857	30,191	33,409	35,718
18	6,225	7,015	8,231	9,39	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,114	32,853	36,191	38,582
20	7,434	8,26	9,591	10,851	31,14	34,17	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,26	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,98	45,558
25	10,52	11,524	13,12	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,16	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,29
27	11,808	12,897	14,753	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,733	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  $(O_i - E_i)^2 / E_i$ ;

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  $D_k = K - (p + 1)$ .

b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov dilakukan untuk mengetahui persentase kemencengan maksimum dan kemencengan data agar sifat statistik data dapat diterima. Dari sifat statistik data itu, data yang telah dihitung kemencengannya tidak boleh melebihi kemencengan maksimum data, hal ini mengakibatkan data tidak dapat diterima sifat statistiknya. 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. Menghitung selisih ( $D_0$ ) antara peluang empiris dan teoritis untuk setiap data yang sudah diurut.

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

N	Derajat Kepercayaan, $\alpha$			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
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, $\alpha$			
	0,2	0,1	0,05	0,01
35	0,18	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N>50	$\frac{1,07}{N^{0,5}}$	$\frac{1,22}{N^{0,5}}$	$\frac{1,36}{N^{0,5}}$	$\frac{1,63}{N^{0,5}}$

(Sumber : Suripin, 2004)

#### 2.4.4 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF = *Intensity-Duration-Frequency Curve*) (Suripin, 2004).

Intensitas hujan, lama hujan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung intensitas. Data hujan jangka pendek seperti, 5 menit, 10 mneit, 30 menit, dan 60 menit diperlukan untuk membuat Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF). Berdasarkan data hujan jangka pendek lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) dapat dibuat dengan salah satu persamaan berikut :

##### 1. Rumus Talbot

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

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

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.

$$It = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.21)$$

Keterangan :

$It$  = Intensitas hujan (mm/jam)

$Tc$  = Waktu konsentrasi (jam)

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

## 3. Rumus Ishiguro

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \quad (2.22)$$

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.

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

Keterangan :

$I$  = Intensitas hujan (mm/jam)

$t$  = Lamanya hujan (jam)

$n$  = Konstanta

## 2.5 Debit Banjir Renacana

Debit banjir rencana merupakan debit banjir maksimum dari suatu sungai atau saluran yang besarnya didasarkan/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/bendungan, jembatan, saluran drainase dan lain-lain (Badan Standardisasi Nasional, 2016). Oleh karena itu, maka diperlukan perhitungan dalam menentukan besar dari debit banjir tersebut.

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

Perhitungan debit puncak untuk drainase di daerah perkotaan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus rasional atau hidrograf satuan. Perhitungan debit rencana berdasar periode ulang hujan tahunan, 2 tahunan, 5 tahunan dan 10

tahunan. 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 (Dinisari, 2009).

Tabel 2.12 Standar Desain Saluran Drainase

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

(Sumber : Suripin, 2004)

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

$$Q_p = 0,002778 C I A \quad (2.24)$$

Keterangan :

$Q_p$  = Debit puncak (m<sup>3</sup>/detik)

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

$I$  = Intensitas hujan (mm/jam)

$A$  = Luas DAS (ha)

### 2.5.1 Koefisien Limpasan (*Runoff*)

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

$$C = 0,9I_m + (1 - I_m)Cp \quad (2.25)$$

Keterangan :

$Cp$  = Koefisien limpasan untuk daerah tidak kedap air

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

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

Tabel 2.13 Koefisien Limpasan dan Persentase Kedap Air Berdasarkan Tata Guna Lahan

Tata Guna Lahan	Karakteristik	C	I <sub>m</sub> (%)	Keterangan
Pusat perbelanjaan dan perkantoran		0,90	100	Berkurang untuk bangunan tidak penuh
Pemukiman (kepadatan menengah-tinggi)	20 rmh/ha	0,48	30	Bandingkan daerah kedap air dengan daerah lain
	30 rmh/ha	0,55	40	
	40 rmh/ha	0,65	60	
	60 rmh/ha	0,75	75	
Pemukiman (kepadatan rendah)	10 rmh/ha	0,40	<20	CN = 85 ( <i>Curve Number</i> )
Taman	Daerah datar	0,30	0	
Pedesaan	Tanah berpasir	0	0	C=0,20;CN=60
	Tanah berat ( <i>heavy soil</i> )	0	0	C=0,35;CN=75
	Daerah irigasi	0	0	C=0,50;CN=85

(Sumber : Badan Standardisasi Nasional, 2016)

Nilai C komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$C_k = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n}{A_{total}} \quad (2.26)$$

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

Tabel 2.14 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan 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

Karakteristik tanah	Tata Guna Lahan	Koefisien Limpasan (C)
	Hutan	0,40

(Sumber : Badan Standardisasi Nasional, 2016)

Tabel 2.15 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan Kondisi Permukaan

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

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

### 2.5.2 Waktu Konsentrasi

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

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

$$t_c = t_o + t_d \quad (2.27)$$

$$t_o = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{s}} \right) \quad (2.28)$$

$$t_d = \frac{Ls}{60v} \quad (2.29)$$

Keterangan :

$S$  = Kemiringan saluran

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

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

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

$n$  = Angka kekasaran manning

Tabel 2.16 Kemiringan Rata-rata terhadap Kecepatan Rata-rata

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

(Sumber : Hasmar, 2011)

### 2.5.3 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 dihitung berdasarkan *catchment area* tersebut yang masuk menjadi beban pada saluran drainase (Riyanto, n.d.).

### 2.6 Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika merupakan analisis lanjutan dari analisis hidrologi khususnya sebagai *input* penentuan bentuk dimensi saluran berdasarkan debit banjir rancangan.

Analisis hidrolika ini terdapat tiga tahap analisis, yaitu analisis terhadap kapasitas maksimum saluran drainase eksisting, evaluasi kapasitas saluran terhadap debit rancangan dan evaluasi tinggi dan kemiringan saluran yang ideal berdasarkan kapasitas/volume air yang masuk.

#### 2.6.1 Bentuk Saluran

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

$$Q_{sal} = V_{sal} \cdot A_{sal} \quad (2.30)$$

$$V_{sal} = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot S_{sal}^{0,5} \quad (2.31)$$

Keterangan :

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

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

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

$n$  = Koefisien kekasaran manning

$R$  = Jari-jari hidrolis (m)

$S_{sal}$  = Kemiringan dasar saluran

Tabel 2.17 Harga Koefisien *Manning* ( $n$ ) untuk berbagai tipe saluran

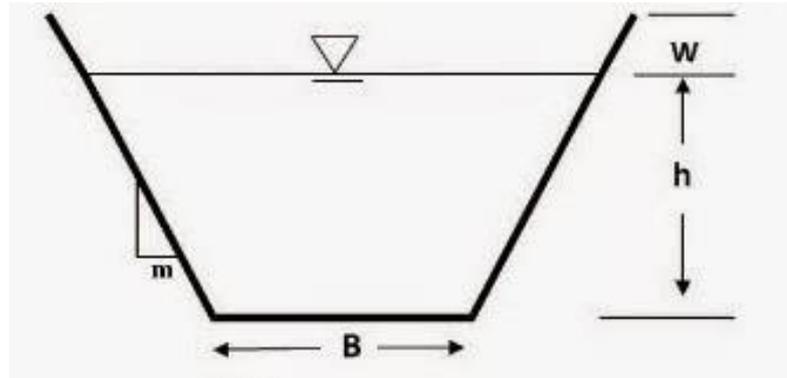
No	Tipe Saluran	Kondisi		
		Baik	Cukup	Buruk
	Saluran Buatan :			
1	Saluran tanah, lurus beraturan.	0,020	0,023	0,025
2	Saluran tanah, digali biasa.	0,028	0,030	0,040
3	Saluran batuan, tidak lurus dan tidak	0,040	0,045	0,050
4	beraturan.	0,020	0,023	0,025
5	Saluran dari pasangan batu tanpa	0,013	0,014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

(Sumber : Suripin, 2004)

Fungsi dan unsur geometris penampang saluran :

a. Trapesium

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



Gambar 2.4 Penampang Saluran Trapesium

(Sumber : Suripin, 2004)

$$\text{Luas (A)} = (B + mh)h \quad (2.32)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = B + 2h\sqrt{1 + m^2} \quad (2.33)$$

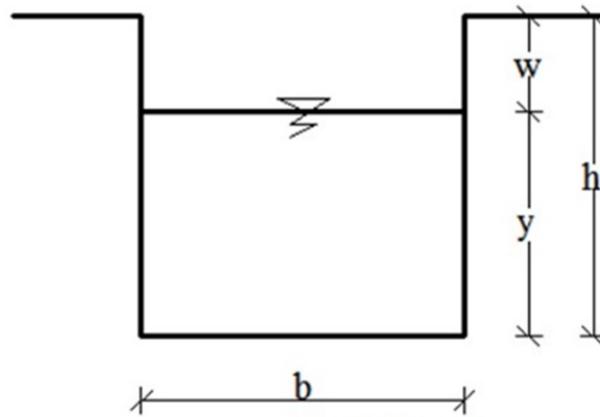
$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{(B + mh)h}{B + 2h\sqrt{1 + m^2}} \quad (2.34)$$

$$\text{Lebar puncak (T)} = B + 2mh \quad (2.35)$$

$$\text{Faktor penampang (z)} = \frac{(B + mh)h^{1.5}}{\sqrt{B + 2mh}} \quad (2.36)$$

b. Persegi

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



Gambar 2.5 Penampang Saluran Persegi

(Sumber : Suripin, 2004)

$$\text{Luas (A)} = by \quad (2.37)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2y \quad (2.38)$$

$$\text{Jari-jari hidrolis} = A/P \quad (2.39)$$

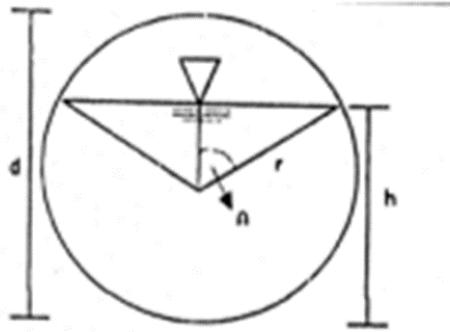
$$\text{Kecepatan aliran (V)} = \frac{1}{n} x R^{2/3} x S^{1/2} \quad (2.40)$$

$$\text{Debit aliran (Q)} = AxV \quad (2.41)$$

$$\text{Tinggi jagaan (w)} = \sqrt{0,5 \cdot y} \quad (2.42)$$

c. 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

(Sumber : Suripin, 2004)

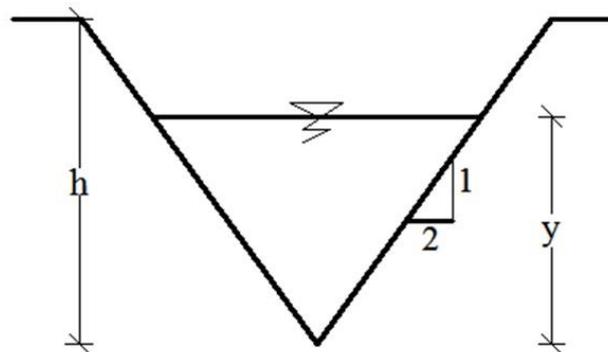
$$\text{Luas penampang basah (A)} = \frac{1}{2}(\theta - \sin \theta) d_o^2 \quad (2.43)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = \frac{1}{2} \theta d_o^2 \quad (2.44)$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{1}{4}(1 - \sin \theta) d_o \quad (2.45)$$

d. Segitiga

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



Gambar 2.7 Penampang Saluran Segitiga

(Sumber : Suripin, 2004)

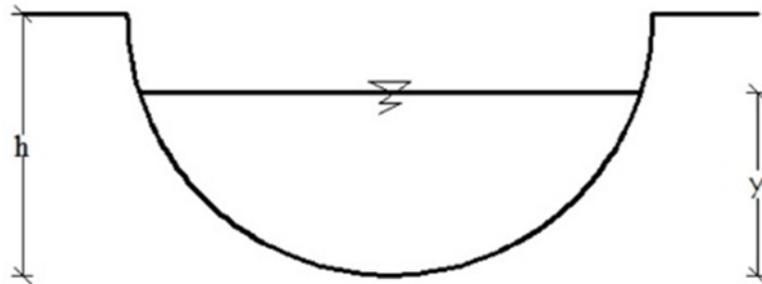
$$\text{Luas penampang basah (A)} = zy^2 \quad (2.46)$$

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

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

e. Setengah Lingkaran

Berfungsi untuk menyalurkan limbah air hujan dengan debit kecil.



Gambar 2.8 Penampang Saluran Setengah Lingkaran

(Sumber : Suripin, 2004)

### 2.6.2 Kapasitas Pengaliran

Dalam studi evaluasi sistem drainase Jalan A.H Nasution Kec. Mangkubumi Kota Tasikmalaya dipakai debit banjir rancangan hasil perhitungan dengan kala ulang 5 tahun.

### 2.6.3 Kapasitas Saluran

Perhitungan yang dipakai dalam menghitung kapasitas saluran drainase adalah menggunakan rumus manning (Dr. Ir. Suripin, 2020) :

$$Q = VxA \quad (2.49)$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.50)$$

Dengan :

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

#### 2.6.4 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dalam saluran biasanya sangat bervariasi dari satu titik ke titik lainnya. Hal ini disebabkan adanya geser di dasar dan dinding saluran dan keberadaan permukaan bebas (Dr. Ir. Suripin, 2020).

Tabel 2.18 Kecepatan yang Diizinkan Sesuai dengan Jenis Materialnya

No	Jenis Bahan	V yang diizinkan
1	Pasir halus	0,45
2	Lempung kepasiran	0,50
3	Lanau alluvial	0,60
4	Kerikil halus	0,75
5	Lempung kokoh	0,75
6	Lempung padat	1,10
7	Kerikil kasar	1,20
8	Batu-batu besar	1,50
9	Pasangan bata	1,50
10	Beton	1,50
11	Beton bertulang	1,50

(Sumber : Dr. Ir. Suripin, 2020)

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

No	Kemiringan rata-rata saluran (%)	Kecepatan rata-rata (m/det)
1	< 1	0,4
2	1 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 aliran harus diperhitungkan, agar tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu lambat, apabila kecepatan aliran terlalu tinggi, air dapat memperpendek usia penampang saluran, sedangkan apabila kecepatan aliran terlalu rendah, akan mengakibatkan mengendapnya sedimen yang terbawa oleh air nidan tumbuhnya tanaman pengganggu.

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

$$V = \frac{1}{N} \cdot R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.51)$$

Keterangan :

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

N = Koefisien kekasaran *manning*

R = Jari-jari hidrolis saluran (m)

S = Kemiringan dasar saluran

### 2.6.5 Kemiringan Dasar dan Dinding Saluran

Kemiringan dasar saluran adalah kemiringan saluran arah memanjang yang pada umumnya dipengaruhi oleh kondisi topografi, sedangkan besarnya kemiringan dinding saluran yang dianjurkan dalam suatu konstruksi yang digunakan untuk membentuk badan saluran itu sendiri seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.16.

Tabel 2.20 Kemiringan Dinding Saluran yang Sesuai untuk Berbagai Jenis Bahan

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 untu saluran-saluran kecil	1,5 : 1
Tanah berpasir lepas	2 : 1
Lumpur berpasir/lempung porous	3 : 1

(Sumber : Ven Te Chow (1997) dalam Suripin (2004))

### 2.6.6 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 anantara 15 sampai 60 cm (Juliyanti, 2020).

$$W = \sqrt{0,5xh} \quad (2.52)$$

Keterangan :

W = Tinggi jagaan (m)

h = Tinggi muka air (m)

Tabel 2.21 Kemiringan Saluran Berdasarkan Jenis Material

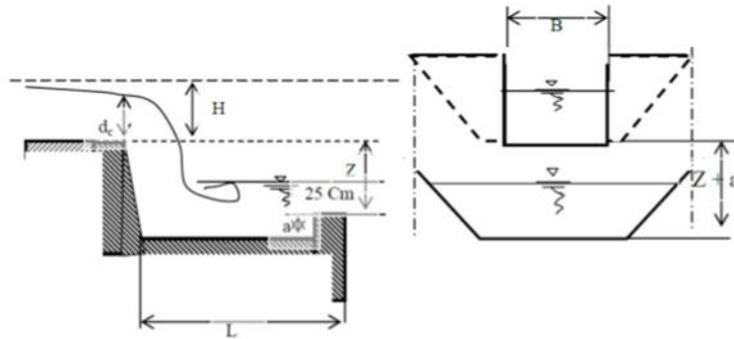
Jenis Material	Kemiringan Dinding Saluran (%)
Tanah Asli	0 – 5
Kerikil	5 – 7,5
Pasangan	7,5

(Sumber : Hasmar, 2011)

### 2.6.7 Bangunan Terjun

Bangunan terjun merupakan salah satu bangunan pelengkap dalam sistem drainase. Perhitungan bangunan terjun ini bertujuan untuk memperkecil nilai kecepatan aliran pada salurannya dan juga mengatasi perbedaan yang terlalu besar

antara kemiringan lapangan dan rencana (Margaret et al., 2013). Berikut rumus-rumus yang digunakan dalam merencanakan bangunan terjun :



Gambar 2.9 Bangunan Terjun

(Sumber : Margaret et al., 2013)

$$\Delta H = L(S_{eksisting} - S_{rencana}) \quad (2.53)$$

$$n = \frac{\Delta H}{z} \quad (2.54)$$

$$I = \frac{L}{n+1} \quad (2.55)$$

$$H_1 = h_1 + \frac{v_1}{2g} \quad (2.56)$$

$$B = \frac{Q}{1,71mH^{3/2}} \quad (2.57)$$

Jika bentuk penampang bangunan terjun yang digunakan adalah segi empat maka rumus yang digunakan dalam menghitung kolam olak adalah sebagai berikut.

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}} \quad (2.58)$$

$$a = \frac{1}{2} h_c \quad (2.59)$$

$$q = \frac{Q}{0,8xb} \quad (2.60)$$

$$C_1 = 2,5 + 1,1 \left( \frac{h_c}{z} \right) + 0,7 \left( \frac{h_c}{z} \right)^3 \quad (2.61)$$

$$L_2 = C_1 \sqrt{zh_c + 0,25} \quad (2.62)$$

$$H_d \approx 1,67H_1 \quad (2.63)$$

$$\Delta Z = \Delta H + H_d - H_1 \quad (2.64)$$

Keterangan :

$L$  = Panjang saluran (m)

$S_{eksisting}$  = Kemiringan di lapangan

$S_{rencana}$  = Kemiringan rencana

$n$  = Banyaknya bangunan terjun yang dibutuhkan

$t$  = Tinggi bangunan terjun (m)

$I$  = Panjang terjunan (m)

$q$  = Debit persatuan lebar ( $m^3/det.m$ )

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

$H_1$  = Tinggi garis energi di hulu (m)

$B$  = Lebar bukaan efektif (m)

$H_d$  = Tinggi energi hilir di kolam olak (m)

$h$  = Kedalaman air di saluran (m)

$b$  = Lebar saluran (m)

$h_c$  = Kedalaman kritis (m)

$g$  = Percepatan gravitasi (m/det<sup>2</sup>)

$L^2$  = Panjang kolam olak (m)

## 2.7 Komponen dan Parameter EPA SWMM 5.1

SWMM (*Strom Water Management Model*) adalah *software* untuk model simulasi hujan limpasan (*rainfall-runoff*) yang digunakan untuk simulasi kuantitas maupun kualitas limpasan permukaan dari daerah perkotaan (Rossman, 2015).

Pemilihan *software* SWMM dalam penelitian ini karena *software* ini mampu mensimulasikan antara hidrologi dan hidrolika dalam sekali *running*. *Software* yang setara hanya mampu mensimulasikan satu komponen saja, hidrologi atau hidrolika.

Dalam *software* ini, diperlukan *input* parameter agar dapat mensimulasikan limpasan yang terjadi. Adapun input parameter tersebut adalah sebagai berikut :

### a. *Subcatchment*

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

1. Luas (Area)
2. Lebar (*Width*)
3. Kemiringan (% *slope*)
4. % kedap air (% *Impervious*)
5. Manning kedap air (*N-Impre*)
6. Manning tidak kedap air (*N-Perviousnes*)
7. *Dstore-Imperviousness*
8. *Dstore-Perviousness*
9. % kedap air absolut (% *Zero-Imperviousness*)

## 10. Infiltration Model

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

$$D_1 = D_t + R_t \quad ( 2.65)$$

Keterangan :

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

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

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

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

$$F_p = F_c + (F_o - F_c)e^{-kt} \quad ( 2.66)$$

Keterangan :

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

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

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

$t$  = Lama hujan (det)

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

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

$$v = \frac{1}{n} D_2^{2/3} S^{1/2} \quad ( 2.67)$$

$$Q = vBD_2 \quad ( 2.68)$$

Keterangan :

$v$  = Kecepatan (m/s)

$n$  = Koefisien *manning*

$S$  = Kemiringan lahan

$B$  = Lebar kahan/panjang pengaliran (m)

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

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk memperhitungkan harga infiltrasi dalam simulasi menggunakan metode *SCS\_Curve Number*. Metode ini mengasumsikan bahwa *infiltrasi* tanah yang terjadi didapatkan melalui pemilihan jenis tata guna lahan. Tabel 2.16 Menjelaskan pemilihan tanah berdasarkan kelompok dan tabel 2.17 menerangkan total kapasitas *infiltrasi* pada tanah.

Tabel 2.22 Harga *Infiltrasi* dari Berbagai Jenis Tanah

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

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

Tabel 2.23 *Cuerve Number* Tutupan Lahan

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

(Sumber : SWMM User's Manual Book, 2010 dalam Tamimi, 2016)

Laju infiltrasi mempunyai klarifikasi tertentu dalam penentuan besarnya laju *infiltrasi*. Penentuan kelas *infiltrasi* dapat dilihat pada tabel 2.19 (*U.S Soil convertation*).

Tabel 2.24 Klarifikasi Besarnya Laju *Infiltrasi*

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

(Sumber : SWMM User's Manual Book, 2010 dalam Tamimi, 2016)

b. *Junction/Node*

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

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

c. *Conduit/Link*

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

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

d. *Rain Gage*

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

1. *Rain Format*
2. *Rain Interval*
3. *Data Source*

e. *Outfall Node*

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

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

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

Konsep penanganan banjir drainase perkotaan untuk mencegah atau mengurangi kerugian banjir dan memperbaiki lingkungan hidup, maka diperlukan suatu perencanaan dan program pengembangan atau perbaikan sistem drainase.

Perbaikan sistem drainase di daerah perkotaan pada umumnya mengikuti tahapan-tahapan sebagai berikut (Suripin, 2004) :

1. Mempelajari sistem drainase yang sudah ada saat ini;
2. Merumuskan rencana perbaikan sistem drainase;
3. Perencanaan fasilitas drainase, seperti saluran drainase, tanggul, gorong-gorong, kolam retensi, stasiun pompa, dan lain-lain;

4. Pelaksanaan pekerjaan;
5. Operasi dan pemeliharaan fasilitas drainase.

### **2.8.1 Penambahan Kapasitas Saluran**

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

Perbaikan dilakukan dengan mengubah dimensi saluran drainase yang mencapai kapasitas maksimum pada jam pertama simulasi. Perencanaan ulang dilakukan dengan mencoba merencanakan lebar dan tinggi saluran sehingga didapatkan kapasitas tampungan yang cukup optimal. Perencanaan ulang saluran drainase dilakukan dengan metode coba-coba pada aplikasi SWMM 5.1 hingga mendapatkan dimensi lebar dan tinggi saluran tanpa banyak mengubah kondisi awal agar biaya yang dikeluarkan untuk renovasi saluran tidak terlalu besar. Besarnya dimensi lebar maupun kedalaman yang ditambahkan perlu diperhatikan, dengan menambah kedalaman saluran maka tinggi muka air perlu diperhatikan agar tidak terjadi aliran balik (*backwater*) terhadap saluran yang diperbaiki, sedangkan dengan menambah lebar saluran maka lebar jalan akan berkurang sehingga sebaik

mungkin dihindari. Perbaikan dimensi saluran yang dilakukan berdampak kepada saluran lain karena dapat mengubah debit saluran di sekitarnya (Lutfhi & Roh, 2018).

Selain menggunakan metode rasional untuk merencanakan dimensi saluran yang mampu mengalirkan debit air yang ada, dimensi saluran juga dapat direncanakan secara langsung dalam program SWMM dengan cara mengiterasi dimensi saluran dalam program tersebut dapat mengalirkan debit air tanpa terjadi limpasan (Sadewo & Sutoyo, 2018).

Data lebar dan tinggi saluran yang telah dilakukan perbaikan selanjutnya digunakan dalam SWMM 5.1 untuk dilakukan simulasi ulang. Simulasi ulang dilakukan untuk mengetahui kondisi model jaringan drainase setelah perbaikan dilakukan. Perbaikan saluran drainase dianggap berhasil apabila tidak ada saluran yang berwarna merah atau ungu pada jam pertama (Lutfhi & Roh, 2018).

### **2.8.2 Pembuatan Kolam Retensi**

Kolam retensi adalah prasarana drainase yang berfungsi untuk menampung dan meresapkan air hujan di suatu wilayah. Kolam retensi digunakan untuk melindungi daerah bagian hilir saluran dari kerusakan yang disebabkan karena kondisi saluran sebelah hilir tidak mampu menampung debit dari saluran sebelah hulu, kelebihan debit tersebut ditampung dalam retensi (Karya, 2012).

Perhitungan volume tampungan dilakukan 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. Kolam tampung yang direncanakan harus dapat menampung kelebihan debit yang melimpas (Fairizi, 2015).

Penelusuran aliran adalah prosedur untuk menentukan waktu dan debit aliran (hidrograf aliran) di suatu titik pada aliran berdasarkan hidrograf yang diketahui sebelah hulu. Penelusuran kolam datar (*level pool routing*) merupakan prosedur menghitung hidrograf aliran keluar dari kolam yang mempunyai permukaan air horizontal (Triatmodjo, 2006).



Gambar 2.10 Kolam Retensi

(Sumber : Triatmodjo, 2006)

$$a_2 = I_1 + I_2 + \beta_1 \quad (2.69)$$

$$S = K.O \quad (2.70)$$

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 (Triatmodjo, 2006) :

$$Q = C_d B H^{3/2} \quad (2.71)$$

Keterangan :

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

$C_d$  = Koefisien debit = 1,7

$B$  = Lebar bangunan pelimpah (m)

$H$  = Tinggi peluapan (m)

### 2.8.3 Normalisasi Dengan Pemeliharaan Saluran

Pengerukan sedimen dan pemeliharaan saluran secara berkala perlu dilakukan guna meminimalisir terjadinya penyumbatan pada saluran (Tamimi, 2015). Pemeliharaan merupakan kegiatan yang sangat penting dilakukan untuk tetap menjaga kondisi prasarana dan sarana drainase yang ada. Proses kegiatan ini terdiri dari beberapa sub komponen yang perlu dilakukan. Kegiatan ini dilakukan dengan durasi waktu baik rutin, berkala maupun khusus tergantung dari komponen prasarana dan sarana yang ada (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2014). Pemeliharaan yang paling umum dilakukan dan dapat mencegah terjadinya banjir dan genangan yaitu pengerukan sedimen. Jadwal dan langkah-langkah pengerukan sedimen ini dilakukan berdasarkan jenis dan ukuran saluran. Berikut langkah-langkah pengerukan sedimen (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2014) :

1. Sedimen yang mengendap di dasar saluran digali dan diangkat ke atas tanggul/tepi saluran dengan alat cangkul dan sekop;

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