

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Drainase dan Sistem Drainase

Drainase yang berasal dari bahasa inggris *drainage* mempunyai arti menguras, membuang, atau mengalihkan air. Drainase secara umum 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 di artikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah. Jadi, drainase menyangkut tidak hanya air permukaan tapi juga air tanah (Suripin, 2004)

Sistem drainase didefinisikan sebagai serangkaian struktur yang dirancang untuk mengurangi atau mengalirkan kelebihan air hujan dari suatu area, agar lahan dapat digunakan secara maksimal. Bangunan-bangunan dalam sistem drainase ini dimulai dengan saluran penerima (*interceptor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran utama (*main drain*), dan badan penerima air (*receiving water*). Selain itu, dalam sistem drainase sering ditemukan bangunan lain seperti gorong-gorong, jembatan, talang, dan saluran miring atau got miring (Kartika et al., 2018).

2.1.1 Drainase Konvensional

Drainase konvensional adalah sistem drainase yang dirancang untuk mengalirkan air hujan atau limbah permukaan secepat mungkin ke saluran pembuangan, sungai, atau laut melalui jaringan saluran terbuka atau tertutup. Sistem ini umumnya menggunakan parit, selokan, gorong-gorong, dan kanal yang berfungsi untuk menghindari genangan air dan banjir.

Pada konsep drainase konvensional, seluruh air hujan yang jatuh di suatu wilayah harus segera dialirkan ke sungai. Namun, jika sistem ini terus digunakan tanpa perubahan, dapat menimbulkan dampak serius seperti kekeringan, banjir, dan tanah longsor.

Dampak lainnya selain kekeringan, banjir, dan tanah longsor, drainase konvensional juga memiliki dampak negatif lainnya, antara lain: penurunan muka air tanah, peningkatan risiko erosi dan pencemaran air.

2.1.2 Drainase Ramah Lingkungan (*eco-drainage*)

Drainase ramah lingkungan didefinisikan sebagai upaya mengelola air kelebihan dengan cara sebesar-besarnya diresapkan ke dalam tanah secara alamiah atau mengalirkan ke sungai dengan tanpa melampaui kapasitas sungai sebelumnya. Dalam drainase ramah lingkungan, justru air kelebihan pada musim hujan harus dikelola sedemikian sehingga tidak mengalir secepatnya ke sungai. namun diusahakan meresap ke dalam tanah, guna meningkatkan kandungan air tanah untuk cadangan pada musim kemarau.

Apabila drainase konvensional membuang air secepat cepatnya ke hilir/ke sungai, drainase ramah lingkungan justru menyimpan dan meresapkan kedalam tanah sebanyak banyaknya, dengan tujuan agar pemenuhan kebutuhan akan air bersih tercukupi, dan pada musim penghujan tidak mudah banjir di hilir, serta pada musim kemarau tidak mudah kekeringan. Tindakan meresapkan air hujan kedalam tanah, dapat meningkatkan kualitas air tanah. Adapun metode penggunaan drainase ramah lingkungan, antara lain:

1. Memanfaatkan air hujan

Menggunakan air hujan yang jatuh sebagai sumber daya untuk kebutuhan seperti irigasi, penyiraman tanaman, atau bahkan penggunaan domestik setelah penyaringan.

2. Membuat sumur resapan

Membuat sumur yang dirancang untuk menampung air hujan dan memungkinkan air meresap ke dalam tanah, meningkatkan cadangan air tanah serta mengurangi mlipasan permukaan,

3. Membuat kolam penampungan

Membangun kolam atau waduk-waduk untuk menampung air hujan yang dapat digunakan kemudian, baik untuk keperluan irigasi, pengisian sumur, atau keperluan lainnya.

4. Memperbanyak area resapan air

Memperluas area yang dapat menyerap air hujan, dengan menanam lahan dengan vegetasi atau menggunakan permukaan permeabel, sehingga air dapat meresap ke dalam tanah dan mengurangi volume air yang mengalir ke saluran drainase.

5. Menampung air hujan ke dalam tampungan-tampungan buatan

Menggunakan sistem tampungan buatan seperti bak penampungan atau tangki untuk menampung air bersih dari sumber lainnya.

6. Menampung air hujan ke dalam badan-badan air alamiah

Mengalirkan air hujan ke sungai, danau, atau kolam alami dengan cara yang terkontrol, sehingga air tetap mengalir ke ekosistem alami tanpa menyebabkan kerusakan atau banjir.

2.2 Daerah Tangkapan Air (DTA)

Daerah tangkapan air adalah wilayah yang berfungsi sebagai tempat alami untuk menampung, menyerap, dan mengalirkan air hujan ke sungai, danau, waduk, atau laut. Wilayah ini mencakup semua permukaan yang menangkap air hujan, baik yang meresap ke dalam tanah maupun yang mengalir di permukaan.

Daerah tangkapan air adalah suatu wilayah daratan yang secara topografis dibatasi oleh punggung gunung dan berfungsi untuk menampung serta menyimpan air hujan sebelum menyalurkannya ke laut melalui jaringan sungai.

2.3 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi memiliki peran penting dalam perencanaan bangunan air. Proses ini mencakup pengolahan data, seperti curah hujan, luas dan bentuk daerah tangkapan air (*catchment area*), kemiringan lahan atau perbedaan tinggi, serta tata guna lahan. Analisis ini bertujuan untuk menentukan debit banjir rencana, curah hujan rata-rata, koefisien pengaliran, waktu pengaliran, dan intensitas hujan. Dengan demikian, analisis hidrologi memungkinkan evaluasi terhadap kondisi saluran drainase yang sudah ada (Kusnan, 2013).

2.3.1 Hujan Kawasan

Hujan Kawasan merupakan salah satu elemen utama dalam perencanaan debit yang berperan dalam menentukan dimensi saluran drainase. Distribusi hujan bervariasi berdasarkan lokasi, sehingga dalam kawasan yang luas, tidak dapat

diwakili hanya oleh satu titik pengukuran. Oleh karena itu, diperlukan beberapa titik pos pengukuran tambahan. Curah hujan kawasan diperoleh dari pengolahan data rata-rata curah hujan yang dikumpulkan dari berbagai pos pengukuran di wilayah tersebut (Suripin, 2004). Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan rata-rata curah hujan di suatu daerah, antara lain sebagai berikut.

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

Metode ini merupakan metode paling sederhana, di mana pengukuran curah hujan yang dilakukan secara bersamaan di beberapa stasiun dijumlahkan, lalu hasilnya dibagi dengan jumlah stasiun. Stasiun hujan yang digunakan dalam perhitungan adalah yang berada dalam Daerah Aliran Air (DTA), namun stasiun di luar DTA yang masih berdekatan juga dapat dipertimbangkan (Triatmodjo, 2008).

Gambar hujan kawasan yang dihitung menggunakan metode aritmatika ditampilkan pada Gambar 2.1 (Sumber: Standar Nasional Indonesia). Perhitungan curah hujan kawasan diperoleh dengan menerapkan rumus berikut:

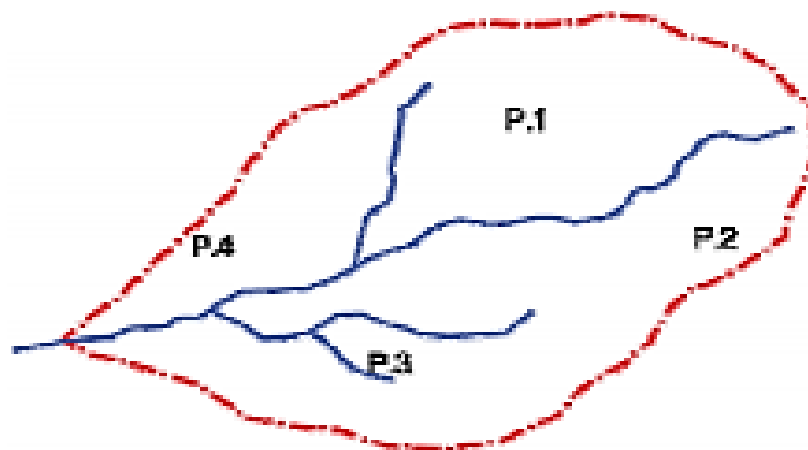
$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad 2.1$$

Keterangan:

$\bar{P}$: Hujan rerata Kawasan

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

n : Jumlah stasiun



Gambar 2.1 Hujan Kawasan Metode Aritmatik

2.3.1.2 Metode Polygon Thiessen

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DTA dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata, pada metode ini stasiun hujan minimal yang digunakan untuk perhitungan adalah tiga stasiun hujan. Hitungan curah hujan rata-rata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun.

Metode Polygon Thiessen banyak digunakan untuk menghitung hujan rata-rata kawasan. Polygon Thiessen adalah tetap untuk suatu jaringan stasiun hujan tertentu. Apabila terdapat perubahan jaringan stasiun hujan seperti pemindahan atau penambahan stasiun, maka harus dibuat lagi poligon yang baru. (Triatmodjo, 2008).

Pendekatan ini dimulai dengan pembuatan poligon untuk setiap stasiun hujan. Setelah poligon terbentuk, koefisien Thiessen dapat dihitung. Berikut adalah langkah-langkah dalam menghitung curah hujan kawasan menggunakan metode Polygon Thiessen:

1. Menentukan stasiun hujan yang akan dianalisis.
2. Mengidentifikasi curah hujan harian maksimum di setiap stasiun yang ditinjau.
3. Memetakan lokasi stasiun hujan berdasarkan koordinatnya pada peta.
4. Membuat Poligon Thiessen.
5. Menghitung luas wilayah yang diwakili oleh masing-masing stasiun.
6. Menghitung curah hujan kawasan menggunakan rumus yang sesuai.

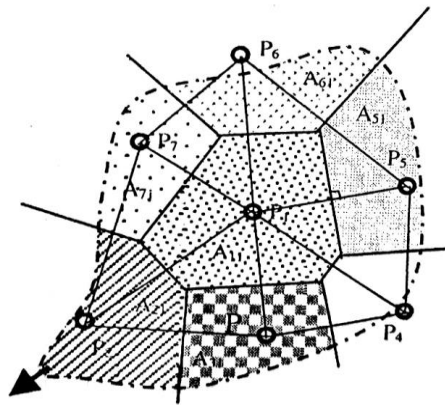
$$\bar{p} = \frac{A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + \dots + A_nX_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad 2.2$$

Keterangan:

$\bar{p}$ = Hujan rerata kawasan

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

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



Gambar 2.2 Hujan Kawasan Metode Polygon Thiessen

2.3.1.3 Metode Isohyet

Isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode Isohyet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah di antara dua garis Isohyet adalah merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis Isohyet tersebut. Metode Isohyet merupakan cara paling teliti untuk menghitung kedalaman hujan rata-rata di suatu daerah, pada metode ini stasiun hujan harus banyak dan tersebar merata, metode Isohyet membutuhkan pekerjaan dan perhatian yang lebih banyak dibanding dua metode lainnya. (Triatmodjo, 2008).

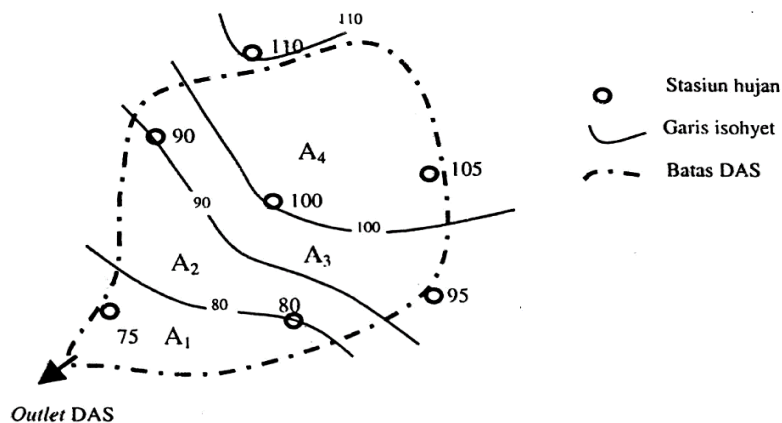
$$\bar{p} = \frac{A_1 \frac{P_1 + P_2}{2} + A_2 \frac{P_2 + P_3}{2} + A_3 \frac{P_3 + P_4}{2} + \dots + A_n \frac{P_{n-1} + P_n}{2}}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad 2.3$$

Keterangan:

P = Hujan rerata kawasan

In = Curah hujan pada masing-masing stasiun

An = Luas area dari titik I



Gambar 2.3 Hujan Kawasan Metode Isohyet

2.3.2 Analisis Distribusi Frekuensi

Dalam analisis distribusi frekuensi data hidrologi, tujuan utamanya adalah menentukan hubungan antara kejadian ekstrim (seperti curah hujan atau debit maksimum) dengan frekuensinya menggunakan distribusi probabilitas. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Tahun 2018, beberapa hal yang harus dicari dalam analisis frekuensi adalah sebagai berikut:

1. Standar Deviasi

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

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

Keterangan:

S = Standar deviasi

X_i = Nilai varian ke-i

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

n = Jumlah data

2. Koefisien *Skewness*

Koefisien *skewness* adalah ukuran statistik yang digunakan untuk menentukan apakah suatu distribusi data memiliki kecenderungan miring ke kanan atau ke kiri dari distribusi normalnya

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

Keterangan:

CS = Koefisien *skewness*

X_i = Nilai varian ke-i

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

n = Jumlah data

S = Simpangan baku

3. Koefisien Kurtosis

Koefisien kurtosis ukuran statistik yang menggambarkan derajat ketajaman atau keberpincangan puncak distribusi data dibandingkan dengan distribusi normal. Dalam analisis hidrologi, kurtosis digunakan untuk mengevaluasi

sebaran data hidrologi seperti curah hujan ekstrim, debit puncak, atau tinggi muka air.

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

Keterangan:

Ck = Koefisien kurtosis

Xi = Nilai varian ke-i

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

n = Jumlah data

S = Simpangan baku

Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi. Berikut ini empat jenis distribusi frekuensi yang paling banyak digunakan dalam bidang hidrologi:

2.3.2.1 Distribusi Normal

Perhitungan hujan dengan periode ulang menggunakan metode distribusi normal bergantung pada nilai variabel reduksi Gauss (Soewarno, 1995). Rumus yang digunakan untuk menentukan hujan periode ulang dengan metode distribusi normal adalah sebagai berikut:

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

Keterangan:

X_t = Curah hujan periode ulang (mm/hari)

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

K_t = Faktor frekuensi (nilai variabel reduksi gauss)

S = Standar deviasi.

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

Tabel 2.1 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No.	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	K_T
1	1.001	0.999	-3.050
2	1.005	0.995	-2.580
3	1.010	0.990	-2.330

No.	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	K _T
4	1.050	0.950	-1.640
5	1.110	0.900	-1.280
6	1.250	0.800	-0.840
7	1.330	0.750	-0,670
8	1.430	0.700	-0.520
9	1.670	0.600	-0.250
10	2.000	0.500	0.000
11	2.500	0.400	0.250
12	3.330	0.300	0.520
13	4.000	0.250	0.670
14	5.000	0.200	0.840
15	10.000	0,100	1.280
16	20.000	0.050	1.620
17	50.000	0.020	2.050
18	100.000	0.010	2.330
19	200.000	0.005	2.580
20	500.000	0.002	2.880
21	1.000.000	0,001	3.090

2.3.2.2 Distribusi Log Normal

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

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

Keterangan:

X = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan

S = Nilai rata-rata hitung varian

K_T = Faktor reduksi gauss

2.3.2.3 Distribusi Log Pearson Type III

Perhitungan hujan periode ulang menggunakan metode Log Pearson Type III melibatkan penggunaan nilai logaritma dari data hujan. Perhitungan ini dipengaruhi oleh nilai faktor k untuk distribusi Log Pearson III seperti yang tersaji dalam Tabel 2.2 (Suripin, 2004).

Distribusi Log Pearson III dapat di konversikan menjadi bentuk logaritma sebagai berikut:

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

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

Keterangan:

X_T = Hujan maksimum dimana periode ulang tahunan

X = Curah hujan rata-rata dengan log x

S = Deviasi standar nilai varian

K_T = Frekuensi factor

Nilai frekuensi faktor untuk metode Log Pearson Type III di sajikan pada Tabel 2.2 (Suripin, 2004)

Tabel 2.2 Nilai K untuk Distribusi Log Pearson Type III

No	Koef G	Interval Kejadian (<i>Recurrence Interval</i>), Tahun (pu)					
		2	5	10	25	50	100
		Persentase peluang Terlampaui					
		50	20	10	4	2	1
1	3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,501
2	2,8	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
3	2,6	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889
4	2,4	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
5	2,2	-0,333	0,574	1,264	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

No	Koef G	Interval Kejadian (<i>Recurrence Interval</i>), Tahun (pu)					
		2	5	10	25	50	100
		Persentase peluang Terlampaui					
		50	20	10	4	2	1
18	-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
19	-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
20	-0,8	0,132	0,132	0,856	1,389	1,448	1,733
21	-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
22	-1,2	0,195	0,844	1,068	1,282	1,379	1,449
23	-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
24	-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,1297	1,197
25	-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
26	-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	1,990
27	-2,2	0,333	0,725	0,884	0,888	0,900	1,950
28	-2,4	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
29	-2,6	0,368	0,969	0,747	0,74	1,768	0,769
30	-2,8	0,384	0384	0,666	0,711	0,712	0,714
31	-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

Beberapa metode yang digunakan untuk mengukur pemusatan data antara lain:

1. Rata – rata

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

2. Deviasi Standar

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

3. Koefisien Variasi

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

4. Koefisien *Skewness*

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

5. Koefisien Kurtosis

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

2.3.2.4 Distribusi Gumbel

Perhitungan hujan periode ulang dengan metode distribusi Gumbel dipengaruhi oleh beberapa variabel, di antaranya reduced variable, reduced mean, dan reduced standard deviation. Hubungan antara jumlah data (n) dengan reduced mean (Y_n) dan reduced standard deviation (S_n) dapat ditemukan dalam Tabel 2.3 dan Tabel 2.4, sedangkan hubungan antara periode ulang (T) dengan reduced variate (YT) disajikan dalam Tabel 2.5 (Suripin, 2004).

Distribusi gumbel ini biasanya menggunakan harga ekstrim untuk digunakan Analisa data maksimum. Berikut persamaan distribusi gumbel:

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

Keterangan:

X_t = Curah hujan periode ulang (mm/hari)

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

S = Simpangan baku

Y_t = *Reduced variable*

Y_n = *Reduced mean*

S_n = *Reduced standard deviation*

Tabel 2.3 Reduce Standard Deviation (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	1,117	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

Tabel 2.4 Reduced 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	0,500	0,550	0,551	0,551	0,551
60	0,532	0,552	0,552	0,553	0,553	0,553	0,553	0,554	0,554	0,554
70	0,534	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,556	0,556	0,556
80	0,536	0,557	0,557	0,557	0,557	0,558	0,558	0,558	0,558	0,558
90	0,558	0,558	0,558	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559
100	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,561	0,561	0,561

Tabel 2.5 Reduced Variate (Yt), sebagai Fungsi Periode Ulang

No	Periode Ulang, Tr (Tahun)	Reduced Variate, Y _{Tr}
1	2	0,3668
2	5	1,5004
3	10	2,251
4	20	2,9709
5	25	3,1993
6	50	3,9028
7	75	4,3117
8	100	4,6012
9	200	5,2969
10	250	5,5206
11	500	6,2149

Parameter-parameter statistik yang digunakan, sebagai berikut:

a. Rata-rata

Parameter yang digunakan adalah (Suripin, 2004)

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

b. Standar deviasi

Parameter Standar Deviasi digunakan adalah (Soewarna, 1995)

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

c. Koefisien *skewness*

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

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

Syarat-syarat batas penentuan sebaran dapat dilihat pada Tabel 2.6 yang disajikan pada berikut ini (Suripin, 2004).

Tabel 2.6 Syarat-syarat Batas Penentuan Sebaran

No	Jenis Distribusi	Syarat
1	Normal	Cs = 0
		Ck = 3
2	Log-Normal	Cs = Cv ³ + 3Cv
		Ck = Cv ⁸ + 6Cv ⁶ + 15Cv ⁴ + 16Cv ² + 3
3	Gumbel	Cs = 1.14
		Ck = 5.4
4	Log Pearson III	Selain nilai di atas

2.3.3 Uji kecocokan

Uji kecocokan dalam analisis hidrologi bertujuan untuk mengetahui apakah suatu distribusi probabilitas cocok dengan data yang dianalisis. pengujian ini penting untuk memastikan bahwa model distribusi yang digunakan dapat menggambarkan pola kejadian hidrologi secara akurat, seperti curah hujan, debit sungai, atau tinggi muka air. Adapun beberapa metode yang dapat digunakan dalam uji kecocokan diantaranya adalah uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018)

2.3.3.1 Uji Chi-Kuadrat

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

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} \quad 2.20$$

Keterangan:

χ^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 χ^2 merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai χ^2 sama atau lebih kecil dari pada nilai Chi-Kuadrat yang sebenarnya (χ^2). Dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut (Suripin, 2004).

Tabel 2.7 Nilai Kritis untuk Distribusi Chi-Kuadrat

Dk	α (Derajat Kepercayaan)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,000039	0,000016	0,00098	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,789
2	0,01	0,201	0,051	0,103	5,991	7,378	9,21	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,86
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,07	12,832	15,086	16,75
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,69	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,18	2,733	15,507	17,535	20,09	21,995
9	1,735	2,088	2,7	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,94	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,92	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,3
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,326	24,736	27,388	29,819
14	4,075	4,66	5,629	6,571	23,685	26,119	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	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

Dk	α (Derajat Kepercayaan)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,26	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,98	45,558
25	10,52	11,524	13,12	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,16	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,29
27	11,808	12,897	14,753	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,733	46,979	50,892	53,672

Prosedur uji kecocokan Chi-Kuadrat adalah (Suripin, 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 $Dk = K - (p + 1)$.

2.3.3.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

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

1. Pengurutan Data

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

$$X_1 = p(X_1)$$

$$X_2 = p(X_2)$$

$X_3 = p(X_3)$, dan seterusnya

2. Pengurutan Nilai

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

$X_1 = p(X_1)$

$X_2 = p(X_2)$

$X_3 = p(X_3)$, dan seterusnya

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

$$D = \text{maksimum} (P(X_n) - P'(X_n)) \quad 2.21$$

4. Berdasarkan Tabel nilai kritis uji Smirnov-Kologorov, tentukan harga d_0 (Soewarno, 1995).

Tabel 2.8 Nilai Kritis D_0 , untuk uji Smirnov Kolmogorov

N0	Level of Significance (α)				
	20	15	10	5	1
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,829
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,734
5	0,446	0,474	0,510	0,563	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,446	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,409	0,486
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	2,740	0,295	0,328	0,391
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,380
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,370
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,361
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,352

2.3.4 Cara Memilih Metoda

Pemilihan metode yang tepat untuk analisis atau perhitungan hidrologi dalam suatu Daerah Tangkapan Air (DTA) dapat dilakukan dengan mempertimbangkan tiga faktor, yaitu:

1. Jaring – jaring pos penakar hujan dalam DTA/DTA
2. Luas DTA
3. Topografi DTA

Pertimbangan tiga faktor dapat dilihat pada Tabel 2.9, Tabel 2.10, Tabel 2.11 yang di sajikan (Suripin, 2004).

Tabel 2.9 Metode Berdasarkan Jaring – jaring Pos Penakar Hujan

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

Tabel 2.10 Metode Berdasarkan Luas DTA

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

Tabel 2.11 Metode Berdasarkan Topografi DTA

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

2.3.5 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu, yang terjadi pada satu kurun waktu air hujan terkonsentrasi. Intensitas curah hujan di Indonesia dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada lokasi geografis dan waktu dalam tahun. Intensitas hujan mengacu pada seberapa banyak curah hujan turun dalam periode waktu tertentu, biasanya diukur dalam milimeter per jam atau per hari.

Biasanya intensitas hujan dihubungkan dengan durasi hujan jangka pendek misalnya 5 menit, 30 menit, 60 menit dan jam jaman. Hubungan intensitas hujan dan durasi kejadian hujan dapat dicari dengan menggunakan beberapa rumus pendekatan empiris seperti rumus sebagai berikut :

2.3.5.1 Rumus Talbot

Rumus Talbot dikemukakan oleh professor Talbot pada tahun 1881. Tetapan-tetapan nilai pada rumus Talbot dinyatakan pada persamaan berikut ini:

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

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lama terjadinya hujan (jam)

a, b = Konstanta yang bergantung; pada lama terjadinya hujan

2.3.5.2 Rumus Sherman

Rumus Sherman dikemukakan oleh seseorang professor bernama Sherman pada tahun 1905. Menggunakan rumus ini lebih cocok untuk data curah hujan dengan lamanya curah hujan lebih dari 2 jam.

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

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lama terjadinya hujan (jam)

n = Konstanta

2.3.5.3 Rumus Ishiguro

Rumus ini dikenalkan oleh Ishiguro pada tahun 1953.

$$I = \frac{a}{\sqrt{t + b}} \quad 2.24$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lama terjadinya hujan (jam)

a, b = Konstanta yang bergantung pada lama terjadinya hujan

2.3.5.4 Rumus Mononobe

Rumus mononobe merupakan variasi dari rumus lain. Namun rumus mononobe ini digunakan untuk curah hujan jangka pendek. Dalam perhitungan curah hujan, rumus mononobe adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad 2.25$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

R_{24} = Hujan maksimum harian (mm)

t = Lama terjadinya hujan (jam)

2.4 Debit Banjir Rencana

Perhitungan debit rencana dilakukan menggunakan rumus rasional, dengan data yang dibutuhkan meliputi luas daerah tangkapan air (DTA), intensitas hujan selama waktu konsentrasi, serta nilai koefisien limpasan. Intensitas hujan dihitung menggunakan rumus Mononobe, sedangkan debit kapasitas dihitung dengan rumus Manning, yang memerlukan data dimensi saluran sebagai input. Beberapa data pendukung yang diperlukan dalam analisis ini mencakup karakteristik sungai, data hujan, debit sungai, hidrograf banjir, serta morfologi sungai. Metode perhitungan debit banjir sangat bergantung pada ketersediaan data yang tersedia (Nurhamidin et al., 2015).

Dalam perencanaan drainase perkotaan, perhitungan debit puncak dapat dilakukan menggunakan rumus rasional atau hidrograf satuan. Debit rencana dihitung berdasarkan periode ulang hujan tahunan, seperti 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, hingga 25 tahun. Data yang diperlukan meliputi batas dan pembagian daerah tangkapan air, tata guna lahan, serta data hujan. Standar yang telah ditetapkan, termasuk metode analisis debit rencana, tinggi jagaan, serta struktur saluran, dapat dijadikan acuan dalam perencanaan sistem drainase (Dinisari, 2009). Standar desain saluran drainase lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 2.11 (Suripin, 2004).

Tabel 2.12 Standar Desain Saluran Drainase

Luas DTA (ha)	Periode Ulang (tahun)	Metode Perhitungan Debit Banjir
< 10	2	Rasional

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

Perhitungan debit rancangan drainase perkotaan umumnya menggunakan metode rasional. metode ini dipilih karena daerah aliran yang relatif kecil, kehilangan air yang minim, serta waktu genangan yang singkat. Selain itu, metode rasional dikenal mudah digunakan, namun hanya cocok untuk daerah tangkapan air (DTA) berukuran kecil, yaitu tidak lebih dari 500 hektar (Juliyanti, 2020)

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad 2.26$$

Keterangan:

Q = Debit Rencana (m^3/detik)

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

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

A = Luas DTA (ha)

2.4.1 Koefisien Limpasan

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

$$C = 0,91_m + (1 - I_m)C_p \quad 2.27$$

$$I_m = \frac{A_{kedap\ air}}{A_{total}} \quad 2.28$$

Keterangan:

C_p = Koefisien limpasan untuk daerah tidak kedap air

I_m = Rasio kedap air

Tabel nilai koefisien limpasan dan rasio kedap air disajikan pada Tabel 2.13 (Sumber: Badan Standarisasi Nasional, SCI 2415-2015)

Tabel 2.13 Koefisien Run off dan Presentase Kedap Air Tata Guna Lahan

Tata Guna Lahan	Karakteristik	C	I_m (%)	Keterangan
Pusat perbelanjaan dan perkantoran		0,90	100	Berkurang untuk bangunan tidak penuh

Tata Guna Lahan	Karakteristik	C	I _m (%)	Keterangan
Pemukiman (kepadatan menengah-tinggi)	20 rmh/ha	0,48	30	Bandingkan daerah kedap air dengan daerah lain
	30 rmh/ha	0,55	40	
	40 rmh/ha	0,65	60	
	60 rmh/ha	0,75	75	
Pemukiman (kepadatan rendah)	10 rmh/ha	0,40	<20	CN = 85 (Curve Number)
Taman	Daerah datar	0,30	0	
Pedesaan	Tanah berpasir	0	0	C=0,20; CN=60
	Tanah berat	0	0	C=0,35; CN=75
	(heavy soil)			
	Daerah irigasi	0	0	C=0,50; CN=85

Nilai C koefisien dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_k = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n}{A_{total}} \quad 2.29$$

Tata guna lahan serta kondisi permukaan lahan dapat digunakan sebagai dasar dalam memperkirakan nilai koefisien limpasan (c).

Tabel nilai koefisien limpasan tata guna lahan disajikan pada Tabel 2.14 (Badan Nasional, SCI 2415-2015) dan nilai koefisien limpasan berdasarkan kondisi permukaan disajikan pada table 2.15 (SNI_2415)

Tabel 2.14 Nilai Koefisien Limpasan Tata Guna Lahan

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

Tabel 2.15 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan Kondisi Permukaan

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

2.4.2 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi hujan merupakan waktu yang dibutuhkan air hujan untuk mengalir dari titik di suatu Daerah Aliran Sungai hingga mencapai titik kontrol atau *outlet* (misalnya sungai utama atau saluran drainase).

Waktu konsentrasi dapat dibagi menjadi dua bagian utama berdasarkan jenis aliran yang terjadi dalam suatu Daerah Aliran Sungai atau wilayah drainase:

1. Waktu tempuh Aliran Permukaan (*Overload Flos Time*)

Waktu yang dibutuhkan air hujan untuk bergerak dari tempat jatuhnya di permukaan tanah hingga mencapai saluran air utama (parit, Sungai, atau drainase) dan dipengaruhi oleh jenis permukaan tanah, vegetasi, dan kemiringan lahan.

2. Waktu Tempuh Aliran di Saluran (*Chanel Flow Time*)

Waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir dari saluran kecil menuju sungai utama dan akhirnya ke outlet atau titik kontrol. Dan dipengaruhi oleh panjang saluran, kemiringan sungai, serta karakteristik hidrolis seperti bentuk dan kekasaran saluran.

Rumus waktu konsentrasi yang digunakan sebagai berikut:

$$t_c = t_o + t_d \quad 2.30$$

Dengan parameter yang digunakan:

$$t_o = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right) \quad 2.31$$

$$t_d = \frac{L_s}{60v} \quad 2.32$$

Keterangan:

S = Kemiringan saluran

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

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

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

n = Angka kekasaran manning

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

Tabel 2.16 Kemiringan Rata-rata terhadap Kecepatan Rata-rata

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

2.4.3 Intensitas Hujan

Laju infiltrasi sangat dipengaruhi oleh intensitas hujan terhadap aliran permukaan. Jika intensitas hujan melebihi laju infiltrasi, maka limpasan permukaan akan meningkat seiring dengan bertambahnya curah hujan. Namun, peningkatan limpasan permukaan tidak selalu sebanding dengan kenaikan intensitas hujan karena adanya genangan air di permukaan tanah. Intensitas hujan juga berperan dalam menentukan debit serta volume limpasan (Suripin, 2004).

2.4.4 Luas Daerah Pengaliran

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

2.5 Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika merupakan tahap lanjutan dari analisis hidrologi yang berfungsi sebagai dasar dalam menentukan ukuran saluran drainase berdasarkan debit banjir rancangan. Dimensi saluran tersebut kemudian digunakan untuk mengevaluasi kapasitas debit pada saluran yang sudah ada maupun yang akan dibangun. Aliran dalam setiap saluran mungkin tidak selalu sesuai dengan perencanaan, namun pada tahap awal perencanaan aliran seragam.

Rumus manning dapat di terapkan sebagai metode perhitungan (Pania et al., 2013).

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad 2.33$$

$$Q = \frac{1}{n} A \cdot R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad 2.34$$

Keterangan:

Q = Debit pada saluran (m³/det)

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

A = Luas penampang basah (m²)

n = Koefisien kekasaran manning

R = Jari-jari hidrolik (m)

S = Kemiringan Dasar saluran

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

No	Tipe Saluran	Kondisi		
		Baik	Cukup	Buruk
	Saluran Buatan:			
1	Saluran tanah, lurus beraturan.	0,020	0,023	0,025
2	Saluran tanah, digali biasa.	0,028	0,030	0,040
3	Saluran batuan, tidak lurus dan tidak beraturan.	0,040	0,045	0,050
4	Saluran dari pasangan batu tanpa plengsengan.	0,020	0,023	0,025
5	Saluran dari pasangan batu dengan plengsengan	0,013	0,014	0,015

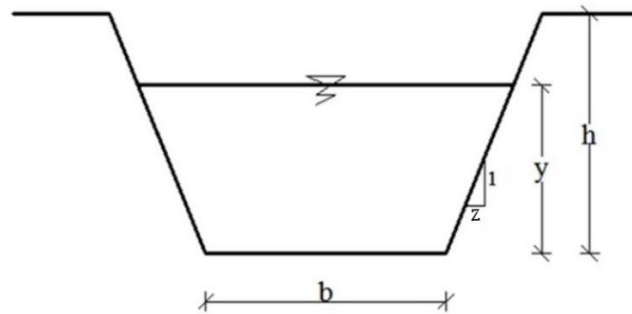
No	Tipe Saluran	Kondisi		
		Baik	Cukup	Buruk
6	Saluran batuan, lurus beraturan.	0,030	0,033	0,035
7	Saluran batuan, vegetasi pada sisinya	0,030	0,035	0,045
8	Dasar tanah, sisi batu koral.	0,030	0,030	0,040
9	Saluran berliku-liku kecepatan rendah.	0,025	0,028	0,030
	Saluran Alami:	0,028	0,030	0,033
1	Bersih, lurus, tapi tanpa pasir dan tanpa celah.	0,033	0,035	0,040
2	Bersih, lurus, tapi tanpa pasir, tanpa celah	0,035	0,040	0,045
3	vegetasi & kerikil.	0,045	0,050	0,055
4	Berliku, bersih, tapi berpasir dan berlubang.	0,040	0,045	0,050
5	Berliku, bersih, tapi berpasir, berlubang, dangkal	0,050	0,055	0,065
6	dan tak teratur	0,060	0,070	0,080
7	Berliku, bersih, tapi berpasir, berlubang, batuan Dan vegetasi	0,100	0,125	0,150
8	Aliran lambat, banyak tanaman dan lubang. Tumbuhan tinggi dan padat Dengan rumput.	0,015	0,017	0,020
	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

Fungsi dan bentuk penampang saluran:

Dalam perencanaan dimensi saluran harus direncanakan agar memperoleh tampang yang ekonomis. Bentuk perencanaan penampang saluran yang umum digunakan adalah sebagai berikut:

a. Trapesium

Trapesium digunakan untuk mengalirkan limbah dan air hujan dengan debit besar, yang memiliki aliran terus-menerus dengan fluktuasi kecil. Biasanya, trapesium ini terletak di area yang masih memiliki lahan cukup.



Gambar 2.4 Penampang Saluran Trapesium

$$\text{Luas (A)} = (b + zy)y \quad 2.35$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \quad 2.36$$

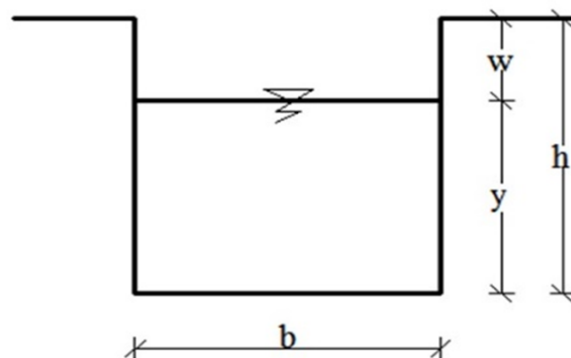
$$\text{Jari-jari hidrolik (R)} = \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}} \quad 2.37$$

$$\text{Lebar puncak (T)} = b + 2zy \quad 2.38$$

$$\text{Faktor penampang (z)} = \frac{(b + zy)y^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}} \quad 2.39$$

b. Persegi

Persegi memiliki fungsi yang sama dengan trapesium, perbedaannya terletak pada lokasi jalur saluran yang tidak kurang memiliki lahan yang cukup.



Gambar 2.5 Penampang Saluran Persegi

$$\text{Luas (A)} = b \cdot y \quad 2.40$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2y \quad 2.41$$

$$\text{Jari-jari hidrolik (R)} = \frac{A}{P} \quad 2.42$$

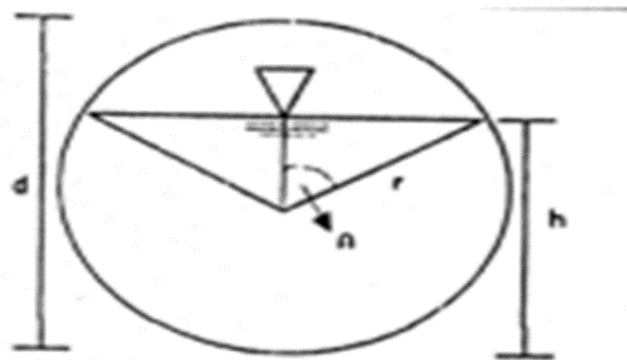
$$\text{Kecepatan aliran (V)} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad 2.43$$

$$\text{Debit aliran (Q)} = A \times V \quad 2.44$$

$$\text{Tinggi jagaan (w)} = \sqrt{0,5 \times h} \quad 2.45$$

c. Lingkaran

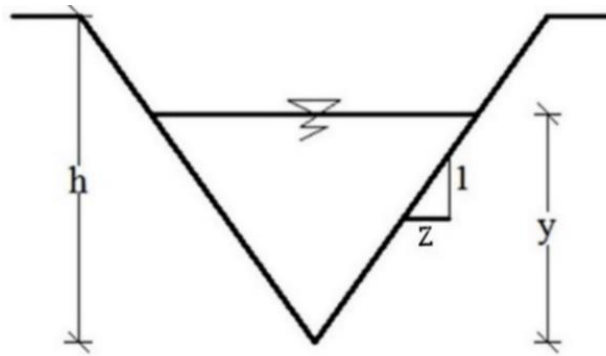
Lingkaran berfungsi untuk mengalirkan air bersih, limbah, dan air hujan. Umumnya lingkaran digunakan dalam pembuatan gorong-gorong atau pipa distribusi air bersih.



Gambar 2.6 Penampang Saluran Lingkaran

d. Segitiga

Saluran drainase berbentuk segitiga tidak memerlukan banyak ruang, yang menjadi keuntungan dari bentuk saluran ini. Saluran jenis ini harus terbuat dari pasangan batu atau bahan sejenis. Bentuk ini juga berfungsi untuk mengalirkan air hujan, air rumah tangga, serta air irigasi.



Gambar 2.7 Penampang Saluran Segitiga

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

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

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

2.5.1 Kapasitas Saluran

Perhitungan kapasitas saluran drainase dilakukan dengan menggunakan rumus manning (Suripin, 2004).

$$Q = V \times A \quad 2.49$$

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

Keterangan:

R = Jari-jari hidrolis (m)

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

n = Koefisien kekasaran *manning*

Q = Kapasitas saluran (m³/det)

A = Luas penampang (m²)

S = Kemiringan Dasar saluran

2.5.2 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dalam saluran umumnya bervariasi antara satu titik dengan titik lainnya. Variasi ini disebabkan oleh gesekan didasar dan dinding saluran serta adanya permukaan bebas. Kecepatan yang diperbolehkan berdasarkan jenis material disajikan pada Tabel 2.18, sementara kemiringan rata-rata saluran berhubungan dengan kecepatan rata-rata disajikan pada Tabel 2.19 (Suripin, 2004).

Tabel 2.18 Kecepatan yang Diijinkan Sesuai dengan Jenis Material

No	Jenis Bahan	V yang diijinkan
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 besar	1,20
8	Batu-batu besar	1,50
9	Pasangan bata	1,50
10	Beton	1,50
11	Beton bertulang	1,50

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
3	1 sampai < 1	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

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

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad 2.51$$

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 Komponen dan Prameter EPA SWMM 5.2

Aplikasi EPA SWMM (*Enviromental Protection Agency Storm Water Management Model*) tipe 5.2 EPA SWMM adalah suatu aplikasi yang terbuat untuk

memodelkan dari hujan *run off*. Aplikasi ini mampu mensimulasikan pengaruh dari hujan *run off* pada suatu daerah pada sistem drainasenya dalam jangka pendek ataupun panjang, tidak hanya itu pula mempunyai saran alternatif untuk mengevaluasi permasalahan genangan air (Marchianti, Nurus Sakinah dan Diniyah, 2017).

Software yang diperlukan pada *software* ini adalah:

1. *Rain Gage*

Pada SWMM objek *rain gage* digunakan untuk menunjukkan input data menuju sistem. Dimana *rain gage* yang mengirim data presipitasi guna satu dan bahkan lebih dari satu *subcatchment* area di wilayah yang ditentukan. Parameter yang diinputkan adalah:

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

2. *Subcatchment*

Subcatchment adalah suatu unit hidrologi dari tanah dimana pada topografi serta elemen dari sistem drainase menampilkan permukaan *run off*. Parameter yang diinputkan dalam subcatchment adalah sebagai berikut:

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

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

$$D_1 = D_t + R_t \quad 2.52$$

Keterangan:

D_1 = Kedalaman air setelah terjadi hujan (mm)

D_t = Kedalaman air pada sub DTA pada saat waktu t (mm)

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

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

$$F_p = F_c + (F_o - F_c)e^{-kt} \quad 2.53$$

Keterangan:

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

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

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

t = Lama hujan (det)

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

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

$$v = \frac{1}{n} D_2^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad 2.54$$

$$Q = vBD_2 \quad 2.55$$

Keterangan:

v = Kecepatan (m/s)

n = Koefisien *manning*

R = Jari-jari hidrolis (m)

S = Kemiringan lahan

Q = Debit (m³/det)

A = Luas Penampang

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

jenis tata guna lahan. Tabel 2.20, Tabel 2.21 dan Tabel 2.22 disajikan sebagai berikut: (SWMM User's Manual Book, 2010 dalam Tamimi, 2015)

Tabel 2.20 Harga Infiltrasi dari berbagai Jenis Tanah

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

Tabel 2.21 *Curve Number* Tutupan Lahan

Deskripsi Tutupan Lahan	Luas Lahan	<i>Curve Number</i> Kelompok Tanah			
		A	B	C	D
Lahan Terbuka	< 50%	68	79	86	89
Tutupan Lahan	50 < 75%	49	69	79	84
	> 75%	39	61	74	80
Impervious Areas		98	98	98	89
Jalan, Atap, Area		98	98	98	98
Parkir		76	85	89	91
Aspal/Beton		72	82	87	89
Bebatuan Tanah					

Deskripsi Tutupan Lahan	Luas Lahan	Curve Number Kelompok Tanah			
		A	B	C	D
Daerah Perkotaan					
Kawasan		89	92	94	95
Bisnis/Komersil Industri		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

Laju infiltrasi mempunyai klasifikasi tertentu dalam penentuan besarnya laju infiltrasi.

Tabel 2.22 Klasifikasi 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

Juction Node

Junction/node merupakan elemen yang digambarkan sebagai penerima aliran masuk dan limpasan dari *subcatchment*. Parameter yang dimasukkan ke dalam *junction/mode* adalah sebagai berikut:

- *Node Invert*
- *Node Max Depth*
- *Node Pounded Area*

- *Conduit Length*
- *Conduit Geometry*

3. Conduit/Links

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

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

4. Outfalls.

Outfall merupakan titik terminal dari sistem drainase biasanya yang ditetapkan pada akhir dari batas suatu hilir Outfall ini hanya dihubungkan oleh satu link.

Parameter yang diinputkan adalah:

- *Invert Elevation*
- *Tide Gate*
- *Fixed Stage*

2.7 Zero Run Off System (ZROS)

2.7.1 Definisi Zero Run Off System (ZROS)

Zero run off system (ZROS) adalah suatu konsep pengelolaan sumber daya air yang bertujuan untuk mengurangi aliran limpasan permukaan (*run off*) akibat curah hujan. Dalam sistem ini, aliran air hujan yang jatuh ke permukaan tanah, ditangkap, ditampung, atau diserap kembali ke dalam tanah, sehingga tidak mengalir ke saluran air atau sungai. Tujuan utama dari ZROS adalah untuk meminimalkan dampak negatif dari *run off*, seperti banjir dan erosi, serta meningkatkan cadangan air tanah dengan cara meresapkan air hujan ke dalam tanah.

2.7.2 Penerapan ZROS

Penerapan *Zero Run off System* (ZROS) melibatkan sejumlah langkah teknis dan pengelolaan yang bertujuan untuk mengurangi aliran permukaan air hujan dan meningkatkan infiltrasi ke dalam tanah. Berikut adalah beberapa cara penerapan ZROS:

1. Bangunan Resapan

a. Sumur resapan

Sumur resapan adalah lubang yang digali di tanah dengan kedalaman tertentu, yang diisi dengan material permeable (misalnya batu atau pasir) untuk mempercepat infiltrasi air hujan ke dalam tanah.

b. Biopori

Sistem resapan berupa lubang kecil yang digali di tanah dan diisi dengan bahan organik. Biopori membantu meningkatkan penyerapan air hujan dan mengurangi limpasan permukaan.

c. Infiltrasi Drainase

Sistem drainase yang dirancang untuk memungkinkan air hujan meresap ke dalam tanah, biasanya digunakan pada area yang memiliki permukaan tanah yang cukup padat dan tidak mudah menahan air.

2. Penggunaan Material Permeabel

a. Paving Block Permeabel

Penggunaan paving block yang dirancang dengan celah-celah antara blok-bloknya memungkinkan air hujan meresap ke dalam tanah, dibandingkan dengan permukaan beton atau aspal yang tidak menyerap air.

b. Atap hijau (*Green Roof*)

Penggunaan tanaman di atas bangunan untuk menyerap air hujan dan mengurangi aliran permukaan. Atap hijau juga memiliki manfaat tambahan untuk memperbaiki kualitas udara dan menyediakan ruang hijau di perkotaan.

3. Penanaman Vegetasi

a. Vegetasi Penutup Tanah

Tanaman yang ditanah di area yang rawan limpasan dapat membantu meningkatkan penyerapan air dan mengurangi erosi. Akar tanaman dapat menyerap air hujan dan mencegah tanah tergerus oleh aliran air.

b. Hutan Kota atau Taman

Membuat lebih banyak area hijau di daerah perkotaan untuk meningkatkan infiltrasi air hujan serta memberikan manfaat lingkungan lainnya.

4. Teknologi dan Infastruktur

a. Sistem Pengumpulan Air Hujan

Menggunakan teknologi seperti tangki penampung air hujan untuk menampung air hujan yang jatuh ke permukaan, dan menggunakannya untuk kebutuhan non-potable seperti irigasi atau toilet.

b. Perbaikan Infrastruktur Drainase

Mengupgrade atau merancang ulang sistem drainase kota untuk mendukung konsep ZROS, seperti penggunaan saluran drainase yang mampu menyaring atau menyerap air hujan sebelum mengalir ke saluran utama.

5. Pendekatan Berbasis Kebijakan dan Edukasi

a. Peraturan Bangunan Ramah Lingkungan

Pemerintah dapat mengeluarkan regulasi dan mewajibkan pembangunan bangunan atau area yang menggunakan material permeable dan sistem yang ramah lingkungan.

b. Edukasi Masyarakat

Meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya ZROS dan bagaimana setiap individu bisa berkontribusi dalam pengelolaan air hujan, seperti membangun sumur resapan atau menanam tanaman yang menyerap air hujan.

6. Rehabilitasi Lahan

a. Restorasi Ekosistem

Menerapkan kebijakan yang mendukung restorasi ekosistem, termasuk penghijauan kembali daerah-daerah yang gundul atau terdegradasi, untuk memperbaiki kemampuan tanah dalam menyerap air hujan.

7. Pemantauan dan Evaluasi

a. Pemantaun Aliran dan Kualitas Air

Menerapkan sistem pemantaun untuk mengevaluasi keberhasilan sistem ZROS dalam mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan kualitas air tanah.

2.8 Kolam Detensi

Kolam detensi adalah infrastruktur drainase yang dirancang untuk menampung dan menyerap air hujan di suatu daerah (Karya, 2012). Dengan dua fungsi utama tersebut, kolam detensi menjadi solusi yang efektif dalam pengendalian dan penanganan banjir. Kolam detensi juga memiliki fungsi untuk mengontrol parameter debit puncak dan waktu penyelesaian banjir, yakni dengan mnegurangi debit puncak yang terjadi selama peristiwa banjir (Harmani & Soemantiro, 2017)

Perhitungan volume tampungan kolam detensi didasarkan pada hidrograf banjir yang mengalir ke dalam kolam. Perencanaan kapasitas kolam dilakukan dengan memperhitungkan debit banjir rencana yang mengalir masuk ke dalam kolam melalui saluran (*inlet*) dan debit yang keluar (Florience et al., 2015). Berikut parameter yang digunakan:

$$a_2 = I_1 + I_2 + \beta_1 \quad 2.56$$

$$S = K \cdot O \quad 2.57$$

Keterangan:

S = Volume tampungan (m³/det)

I = Aliran masuk (m³/det)

O = Aliran keluar (m³/det)

K = Koefisien taampungan, perkiraam waktu perjalanan air dari saluran

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

$$Q = C_d B H^{\frac{3}{2}} \quad 2.58$$

Keterangan:

Q = Debit aliran di pelimpah (m³/det)

C_d = Koefisien debit

B = Lebar bangunan pelimpah (m)

H = Tinggi peluapan (m)