

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi adalah studi yang dilakukan untuk memahami dan mengukur perilaku air di alam, termasuk siklus hidrologi dan pengaruhnya pada lingkungan serta kegiatan manusia. Analisis hidrologi mencakup pengukuran dan analisis data hidrologi, seperti curah hujan, temperatur, penguapan, lama penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, limpasan permukaan, aliran sungai, kualitas air, dan tingkat air tanah yang akan selalu berubah menurut waktu. Tujuan dari analisis hidrologi adalah untuk membantu dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, pengelolaan banjir, mitigasi risiko bencana alam, dan pengembangan infrastruktur air (Karim, 2016).

Daerah Tangkapan Air (DTA) atau *Catchment Area* merupakan daerah cakupan atau tangkapan apabila terjadi hujan. Semakin besar DTA maka semakin besar pula debit yang terjadi. Prinsip dasar dari penentuan daerah tangkapan adalah dengan prinsip beda tinggi. Penentuan DTA berpatokan pada titik tertinggi untuk daerah-daerah berbukit, yang kemudian akan mengalir ke tempat yang rendah berdasar alur topografi.

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk alamiah yang didalamnya terdapat proses air meresap atau mengalir melalui sungai dan anak sungai yang bersangkutan. DAS umumnya ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi dengan garis kontur. Garis-garis kontur tersebut digunakan untuk menentukan arah dari limpasan permukaan. Limpasan tersebut berasal dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah dalam arah tegak lurus dengan garis-garis kontur.

2.1.1 Analisis Hujan Kawasan

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang hanya terjadi pada suatu tempat atau titik saja (*point rainfall*). Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan yang luas, satu alat penakar hujan tidaklah cukup untuk menggambarkan curah hujan wilayah tersebut.

Ada tiga macam cara umum yang dipakai dalam menghitung hujan rata-rata kawasan, yaitu metode Rata-Rata Aljabar, *Polygon Thiessen* dan *Isohyet*

a. Rata-Rata Aljabar (Aritmatik)

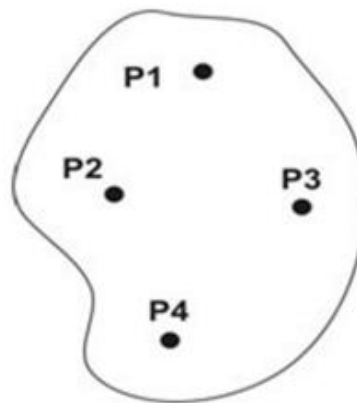
Metode rata-rata aritmatika merupakan metode paling sederhana dalam perhitungan hujan rerata di suatu kawasan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara, artinya metode ini memberikan hasil yang cukup baik jika penyebaran hujan merata serta hujan tidak terlalu bervariasi. Cara ini cocok untuk Kawasan dengan topografi rata atau datar (Suripin, 2004). Kekurangan dari metode ini yaitu kurang akurat apabila digunakan untuk menghitung hujan di suatu daerah dengan variasi hujan di tiap stasiun cukup besar. Hujan Kawasan dapat diperoleh dari persamaan:

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

Keterangan:

P = Hujan Rerata Kawasan

n = Jumlah Stasiun



Gambar 2.1 Metode Rerata Aritmatika
(Sumber: Suripin, 2004)

b. Metode *Polygon Thiessen*

Metode *polygon thiessen* dikenal sebagai metode rata-rata timbang (*weighted mean*). Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat. Metode ini digunakan bila penyebaran stasiun hujan di suatu daerah yang ditinjau tidak merata. Jumlah hasil kali luas total untuk

mendapatkan presipitasi rata-rata. Metode ini sesuai dengan kawasan dengan jarak penakar presipitasi yang tidak merata dan memerlukan stasiun pengamat didekat kawasan tersebut. Penambahan atau pemindahan stasiun pengamat akan mengubah seluruh jaringan dan tidak memperhitungkan topografi (Seyhan, 1995).

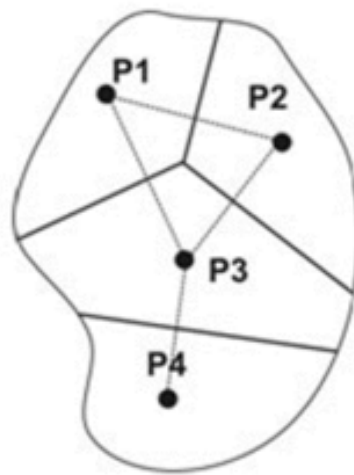
$$P = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.2)$$

Keterangan:

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. Metode Isohyet

Metode isohyet adalah metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian dan pengalaman. Cara ini memperhitungkan secara actual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Metode ini dianggap bahwa data hujan pada suatu luasan diantara dua garis isohyet adalah merata dan sama dengan rerata dari nilai kedua garis isohyet tersebut.

Metode isohyet terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

1. Plot data kedalaman air hujan untuk tiap pos penakar hujan pada peta.
2. Gambar kontur kedalaman air hujan dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai kedalaman air yang sama. Interval isohyet yang umum dipakai adalah 10 mm.

3. Hitung luas area antara dua garis isohyet dengan menggunakan planimeter. Kalikan masing-masing luas areal dengan rata-rata hujan antara dua isohyet yang berdekatan.

Cara untuk menghitung rata-rata DAS dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

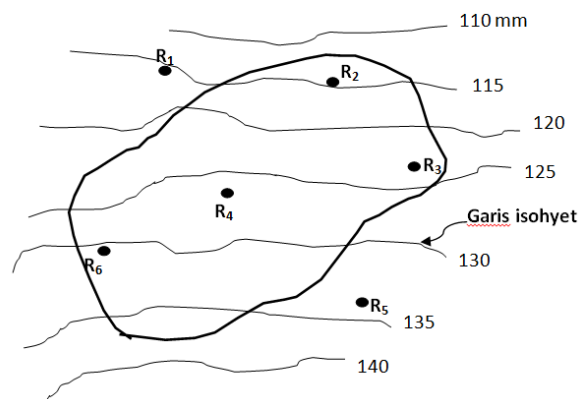
$$P = \frac{A_1 \frac{P_1 + P_2}{2} + A_2 \frac{P_2 + P_3}{2} + A_3 \frac{P_3 + P_4}{2} + \dots + A_n \frac{P_{n-1} + P_n}{2}}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

Keterangan:

P = Curah hujan rata-rata

I_n = Curah hujan pada masing-masing stasiun

A_n = Luas areal dari titik I



Gambar 2.3 Metode Isohyet
(Sumber: Suripin, 2004)

Lepas dari kelebihan dan kelemahan ketiga metode tersebut, ada tiga faktor yang mempertimbangkan untuk pemilihan metode yang akan dipakai pada suatu DAS diantaranya jarring-jaring pos penakar hujan, luas DAS dan topografi DAS.

Tabel 2.1 Pemilihan Metode Berdasarkan Jaring-Jaring Pos Penakar Hujan

Jumlah Pos Penakar	Metode yang digunakan
Pos Penakar Hujan Cukup	Metode rerata aritmatik, <i>polygon</i> thiessen dan isohyet
Pos Penakar Hujan Terbatas	Metode rerata aritmatik dan <i>polygon</i> thiessen
Pos Penakar Hujan Tunggal	Metode hujan titik

(Sumber: Suripin, 2004)

Tabel 2.2 Pemilihan Metode Berdasarkan Luas DAS

Luas DAS (km ²)	Metode yang digunakan
DAS besar (> 5000 km ²)	Metode isohyet
DAS sedang (500 s/d 5000 km ²)	Metode <i>polygon</i> thiessen
DAS kecil (< 500 km ²)	Metode rerata aritmatika

(Sumber: Suripin, 2004)

Tabel 2.3 Pemilihan Metode Berdasarkan Topografi DAS

Jenis Topografi DAS	Metode yang digunakan
Pegunungan	Metode rerata aritmatika
Dataran	Metode <i>polygon</i> Thiessen
Bukit tidak beraturan	Metode isohyet

(Sumber: Suripin, 2004)

2.1.2 Analisis Frekuensi

Frekuensi hujan adalah kemungkinan besarnya suatu besaran hujan yang disamai atau dilampaui. Analisis frekuensi merupakan pengolahan data hidrologi dengan menggunakan statistic. Tujuan dari analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim seperti hujan lebat, banjir dan kekeringan yang berkaitan dengan frekuensi terjadinya melalui penerapan distribusi kemungkinan (Saidah et al., 2021).

Analisis frekuensi atas dasar pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang. Sifat statistik kejadian hujan yang akan datang dianggap masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu. Terdapat empat jenis distribusi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi adalah:

a. Distribusi Normal

Distribusi normal atau kurva normal dikenal sebagai distribusi Gauss. Distribusi ini memiliki dua parameter yaitu statistik rata-rata (μ) dan simpangan baku (σ). Bentuk kurva distribusi normal berbentuk lonceng, dengan puncak di μ dan lebar kurva ditentukan oleh σ . Perhitungan curah hujan rencana menurut metode distribusi normal menggunakan persamaan berikut ini

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

Keterangan:

X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi pada periode ulang T

X = Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

K_T = Faktor Reduksi Gauss

S = Standar Deviasi

Tabel 2.4 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	Kt
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	-6,64
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	-0,25
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 loh 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:

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

Keterangan:

$\text{Log}X$ = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan

X = Nilai rata-rata hitung variat

S = Deviasi standar nilai variat

K_T = Faktor reduksi gauss

c. Distribusi Log-Person III

Pemakaian distribusi Log Person III pada setiap data dapat dikonversikan menjadi bentuk logaritma: $Y = \text{Log}X$

$$\text{Log}X_T = \text{Log}X + K_T S \quad (2.6)$$

Keterangan:

X_T = Hujan maksimum dimana periode ulang tahunan

X = Curah hujan rata-rata dalam log x

S = Deviasi standar nilai variat

K_T = Frekuenis Faktor

Tabel 2.5 Nilai KT untuk Distribusi Log Person 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	-0,396	0,42	1,18	2,278	3,152	4,501
2	2,8	-0,384	0,46	1,21	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	3,8
5	2,2	-0,333	0,574	1,264	2,24	2,97	3,705
6	2	-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	2,78	3,388
9	1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
10	1,2	-0,195	0,732	1,34	2,087	2,626	3,149

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
11	1	-0,164	0,758	1,34	2,043	2,542	3,022
12	0,8	-0,132	0,78	1,336	1,993	2,453	2,891
13	0,6	-0,099	0,8	1,328	1,939	2,359	2,755
14	0,4	-0,066	0,816	1,317	1,88	2,261	2,615
15	0,2	-0,033	0,83	1,301	1,818	2,159	2,472
16	0	0	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
17	-0,2	0,033	0,85	1,258	1,68	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	1,2	1,528	1,72	1,88
20	-0,8	0,132	0,132	0,856	1,389	1,448	1,733
21	-1	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
22	-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
23	-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,27	1,318
24	-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,197	1,197
25	-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
26	-2	0,307	0,777	0,895	0,959	0,98	0,99
27	-2,2	0,333	0,725	0,884	0,888	0,9	0,905
28	-2,4	0,351	0,725	0,795	0,823	0,83	0,832
29	-2,6	0,368	0,969	0,747	0,764	0,768	0,769
30	-2,8	0,384	0,384	0,666	0,711	0,712	0,714
31	-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

(Sumber: Suripin, 2004)

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

1. Rata-rata

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Xi \quad (2.7)$$

2. Deviasi Standar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - X)^2}{n - 1}} \quad (2.8)$$

3. Koefisien Variasi

$$Cv = \frac{s}{x} \quad (2.9)$$

4. Koefisien Skewness

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (Xi - X)^3}{(n - 1)(n - 2)} \quad (2.10)$$

5. Koefisien Kurtosis

$$Ck = \frac{n^2 \sum (Xi - X)^4}{(n - 1)(n - 2)(n - 3) S^4} \quad (2.11)$$

d. Distribusi Gumbel

Distribusi gumbel disebut juga dengan metode distribusi ekstrim yang umumnya digunakan untuk analisa data maksimum. Persamaan yang digunakan adalah:

$$X_{TR} = X + \frac{(Y_{TR} - Y_n)}{S_n} S \quad (2.12)$$

$$Y_{TR} = -\ln \left[\ln \left(\frac{T}{T - 1} \right) \right] \quad (2.13)$$

Keterangan:

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

Y_{TR} = *Reduce mean*

Y_n = *Reduce mean*

S_n = Standar Deviasi

X = Nilai rata-rata

Parameter-parameter distribusi gumble dapat dipertimbangkan pada tabel yang telah disajikan, diantaranya *Reduced Mean* (Y_n), *Reduced Standard Deviation* (S_n), *Reduced Variate* (Y_{TR}) sebagai periode ulang.

Tabel 2.6 Reduced Mean, Y_n

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,495	0,499	0,503	0,507	0,51	0,51	0,513	0,52	0,522	0,552
20	0,523	0,523	0,528	0,528	0,53	0,53	0,532	0,533	0,535	0,535
30	0,536	0,537	0,538	0,538	0,54	0,54	0,541	0,541	0,543	0,543
40	0,543	0,544	0,544	0,545	0,546	0,546	0,546	0,547	0,548	0,548
50	0,546	0,549	0,549	0,549	0,55	0,5	0,55	0,551	0,551	0,551
60	0,532	0,552	0,552	0,553	0,553	0,553	0,553	0,554	0,554	0,554
70	0,534	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,556	0,556	0,556

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
80	0,536	0,557	0,557	0,557	0,557	0,558	0,558	0,558	0,558	0,558
90	0,558	0,558	0,558	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559
100	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,561	0,561	0,561

(Sumber: Suripin, 2004)

Tabel 2.7 Reduced Standard Deviation, Sn

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,949	0,937	0,988	0,997	1,009	1,02	1,103	1,041	1,049	1,036
20	1,062	1,069	1,073	1,081	1,086	1,091	1,096	1,1	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	1,16	1,162	1,163	1,163	1,166	1,168	1,169	1,17	1,172	1,173
60	1,174	1,175	1,117	1,177	1,179	1,18	1,184	1,182	1,183	1,184
70	1,185	1,186	1,186	1,187	1,189	1,19	1,196	1,191	1,192	1,193
80	1,194	1,195	1,195	1,195	1,197	1,197	1,198	1,199	1,199	1,2
90	1,201	1,202	1,202	1,202	1,204	1,204	1,204	1,205	1,205	1,206
100	1,206	1,207	1,207	1,207	1,208	1,208	1,208	1,209	1,209	1,209

(Sumber: Suripin, 2004)

Tabel 2.8 Reduced Variate, Ytr sebagai Fungsi Periode Ulang

Periode Ulang, Tr (Tahun)	Reduced Variate, YTR
2	0,3668
5	1,5004
10	2,251
20	2,9709
25	3,1993
50	3,9028
75	4,3117
100	4,6012
200	5,2969
250	5,5206
500	6,2149

(Sumber: Suripin, 2004)

Parameter-parameter statistik yang digunakan, sebagai berikut:

a. Rata-rata

$$\text{Log}X = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}X_i}{n} \quad (2.14)$$

b. Standar Deviasi

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log} X_1 - \text{Log} X^2)}{n - 1} \right] \frac{1}{2} \quad (2.15)$$

c. Koefisien Skewness (Koefisien Kepencengan)

Kepencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan yang dapat digunakan untuk mendapatkan koefisien *skewness*:

$$G = C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (X_1 - X)^3}{(n - 1)(n - 2) S^3} \quad (2.16)$$

Syarat-syarat batas penentuan sebaran untuk distribusi normal, log normal, log person III dan gumbel yaitu:

Tabel 2.9 Syarat-Syarat Batas Penentuan Sebaran

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

2.1.3 Uji Kecocokan

Diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Pengujian parameter yang sering dipakai adalah chi-kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov.

a. Uji Chi-Kuadrat

Metode uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistic sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X^2 yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$X^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} \quad (2.17)$$

Keterangan:

X^2 = Nilai Chi-Kuadrat terhitung

Ef = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke f

Of = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke f

N = Jumlah sub kelompok dalam satu grup

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

Tabel 2.10 Nilai Kritis untuk Distribusi Chi-Kuadrat

Dk	α (Derajat Kepercayaan)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,005	0,025	0,01	0,005
1	0,000039	0,000016	0,000098	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,789
2	0,01	0,201	0,051	0,103	5,991	7,378	9,21	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,86
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,07	12,832	15,086	16,75
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,69	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,995
9	1,735	2,088	2,700	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	6,265	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	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
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 Chi-Kuadrat adalah (Suripin, 2004):

1. Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya).
 2. Kelompokkan data menjadi G sub-kelompok, tiap-tiap sub-kelompok minimal terdapat 4 data pengamatan.
 3. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub-kelompok.
 4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i .
 5. Tiap-tiap sub-kelompok hitung nilai : $(O_i - E_i)^2$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$.
 6. Jumlah seluruh G sub-kelompok nilai $\sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat hitung.
 7. Tentukan derajat kebebasan $Dk = K - (p + 1)$ (nilai $p = 2$, untuk distribusi normal dan binomial, dan nilai $p = 1$, untuk distribusi Poisson)
- b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov dilakukan untuk mengetahui persentase kemencengan maksimum dan kemencengan data agar sifat statistic data dapat diterima. Dari sifat statistic data itu, data yang telah dihitung kemencengannya tidak dapat diterima sifat statistiknya. Pengujian distribusi probabilitas dengan metode Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan Langkah-langkah sebagai berikut (Suripin, 2004):

- a. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya masing-masing data tersebut:

$$X_1 \rightarrow P(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P(X_2)$$

$$X_m \rightarrow P(X_m)$$

$$X_n \rightarrow P(X_n)$$
- b. Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya):

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

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

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

$$X_n \rightarrow P'(X_n)$$
- c. Kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis. $D = \text{maksimum} [P(X_m) - P'(X_m)]$

- d. Berdasarkan tabel nilai kritis (Smirnov-Kolmogorov test), tentukan harga D_0 .

Tabel 2.11 Nilai Kritis D_0 untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

N	Level of Significance (a)				
	20	15	10	5	1
1	0,9	0,925	0,95	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	0,51	0,563	0,669
6	0,41	0,436	0,47	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	0,36	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	0,45
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	2,74	0,295	0,328	0,391
17	0,25	0,266	0,286	0,318	0,38
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,37
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,361
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,352

(Sumber: Suripin, 2004)

2.1.4 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi adan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya (Suripin, 2004).

Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung intensitas – Durasi – Frekuensi (IDF = Intensity – Duration – Frequency Curve). Data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit dan jam-jaman diperlukan untuk membentuk lengkung 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 yang diukur.

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

Keterangan:

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

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

2. Rumus Mononobe

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

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

Keterangan:

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

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

3. Rumus Ishiguro

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

Keterangan:

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

a & b = Konstanta

4. Rumus Sherman

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

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

Keterangan:

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

n = Konstanta

2.2 Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah suatu nilai debit atau volume air yang dihitung atau ditentukan secara matematis, yang kemudian air tersebut dialirkan oleh suatu sungai atau aliran air pada saat terjadinya banjir dengan intensitas tertentu. Debit banjir ini digunakan sebagai dasar perencanaan untuk pembangunan infrastruktur seperti jembatan, jalan, bendungan dan system drainase untuk menentukan Kawasan-kawasan yang rawan banjir dan perlunya upaya mitigasi bencana banjir (Nurzanah et al., 2022).

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, tata guna lahan dan data curah hujan. Standar yang telah ditetapkan baik debit rencana dan cara analisis yang dipakai, tinggi jagaan, struktur saluran dll dapat dipakai dalam perencanaan saluran drainase. Standar desain untuk saluran drainase berikut ini (Suripin, 2004):

Tabel 2.12 Standard Desain Saluran Drainase

Luas DTA (ha)	Periode Ulang (Tahun)	Metode Perhitungan Debit Banjir
< 10	2	Rasional
10 - 100	2 - 5	Rasional
101 - 500	5 - 20	Rasional
> 500	10 - 25	Hidrograf Satuan

(Sumber: Suripin, 2004)

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

$$Qp = 0,002778C . I . A \quad (2.22)$$

Keterangan:

Qp = Debit puncak ($m^3/detik$)

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

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas DAS (ha)

2.2.1 Koefisien Limpasan (*Runoff*)

Dalam perencanaan drainase, bagian air hujan yang menjadi perhatian adalah aliran permukaan (*surface runoff*), sedangkan ununtuk pengendalian banjir tidak hanya aliran permukaan, tetapi limpasan (*runoff*). Limpasan merupakan gabungan antara aliran permukaan, aliran-aliran yang tertunda pada cekungan-cekungan, dan aliran bawah permukaan (*subsurface-flow*) (Suripin, 2004).

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

$$C = 0,91I_m + (1 - I_m) C_p \quad (2.23)$$

Keterangan:

C_p = Koefisien limpasan untuk daerah tidak kedap air

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

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

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

Tata Guna Lahan	Karakteristik	C	Im (%)	Keterangan
Pusat perbelanjaan dan perkantoran		0,90	100	
Industry	Bangunan penuh	0,80	80	Berkurang untuk bangunan tidak penuh

Tata Guna Lahan	Karakteristik	C	Im (%)	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 (<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
		0	0	C = 0,50 ; CN = 85
	Daerah irigasi			

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

Nilai C komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut;

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

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

Tabel 2.14 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan Tata Guna Lahan

Karakteristik Tanah	Tata Guna Lahan	Koefisien Limpasan (C)
Campuran pasir dan campuran kerikil	Pertanian	0,20
	Padang rumput	0,15
	Hutan	0,10
Geluh dan sejenisnya	Pertanian	0,40
	Padang rumput	0,35
	Hutan	0,30
Lempung dan sejenisnya	Pertanian	0,50
	Padang rumput	0,45
	hutan	0,40

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

Tabel 2.15 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan Kondisi Permukaan Lahan

Jenis Daerah	Koefisien Aliran	Kondisi Permukaan	Koefisien 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

Jenis Daerah	Koefisien Aliran	Kondisi Permukaan	Koefisien Aliran
Daerah pemukiman		Atap rumah	0,70-0,95
Satu rumah	0,30-0,50	Halaman berumput, tanah pasir	
Banyak rumah, terpisah	0,40-0,60	Datar, 2%	0,05-0,10
Banyak rumah, rapat	0,60-0,75	Rata-rata, 2-7%	0,10-0,15
Pemukiman, pinggiran kota	0,25-0,40	Curam, 7% atau lebih	0,15-0,20
Apartemen	0,50-0,70		
Daerah Industri		Halaman berumput, tanah pasir	
Ringan	0,50-0,80	Datar, 2%	0,13-0,17
Padat	0,60-0,90	Rata-rata, 2-7%	0,18-0,22
Lapangan, kuburan dan sejenisnya	0,10-0,25	Curam, 7% atau lebih	0,25-0,33
Halaman, jalan kereta api dan sejenisnya	0,20-0,25		
Lahan tidak terpelihara	0,10-0,30		

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

2.2.2 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari satu titik terjauh dalam DTA sampai pada titik yang ditinjau (titik control) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi terpenuhi. Rumus yang digunakan untuk menghitung waktu konsenrasi adalah rumus Kirpich (Suripin, 2004) sebagai berikut:

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

Keterangan:

t_c = Waktu konsentrasi (jam)

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

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

Waktu konsentrasi dapat juga dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen, yaitu waktu yang diperlukan air untuk mengalir di permukaan tanah

sampai saluran terdekat (t_0) dan waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran (t_d) (Suripin, 2004) sehingga:

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

Dimana,

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

Keterangan:

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

t_d = Waktu pengaliran air yang mengalir didalam saluran sampai titik yang ditinjau (*coundit time*) dalam menit

Ls = Panjang lintasan aliran didalam saluran (m)

V = Kecepatan aliran dalam saluran (m/det)

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 < 6	1,2
4 sampai < 6	1,2
6 sampai < 10	1,5
10 sampai < 15	2,4

(Sumber: Hasmar, 2011)

2.2.3 Intensitas Hujan

Intensitas hujan mengacu pada laju atau kecepatan hujan jatuh dalam suatu wilayah atau area tertentu dalam jangka waktu tertentu. Ini menggambarkan seberapa kuat atau lemah curah hujan yang terjadi pada suatu tempat.

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, peningkatan intensitas hujan karena adanya penggenangan dipermukaan tanah. Intensitas hujan berpengaruh pada debit maupun volume limpasan (Suripin, 2004).

2.2.4 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 (Isyahputri, 2021).

Mengukur luas daerah pengaliran, di perlukan Teknik pemetaan dan analisis topografi. Data topografi seperti peta topografi, citra satelit dan pemodelan digital permukaan digunakan untuk menentukan batas-batas daerah pengaliran dan menghitung luasnya (Robert J Kodoatie, 2013).

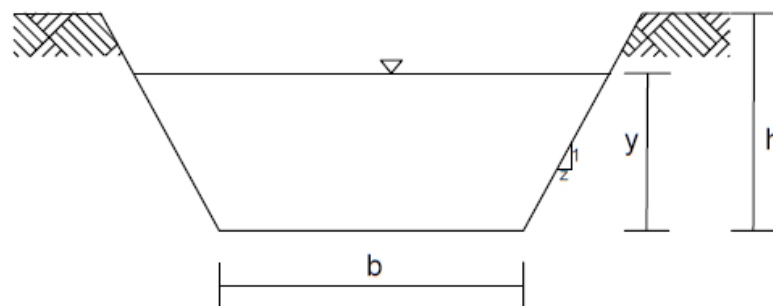
2.3 Analisis Hidrolika

2.3.1 Bentuk Saluran

Perencanaan drainase memiliki berbagai macam bentuk saluran, namun pemilihan bentuk saluran yang paling ekonomis. Bentuk saluran dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar tertentu (Gunadharma, 1997). Adapun bentuk-bentuk saluran beserta rumus-rumusnya:

1. Bentuk Trapesium

Saluran drainase bentuk trapezium pada umumnya saluran dari tanah. Tapi dimungkinkan juga bentuk ini dari pasangan. Saluran ini membutuhkan ruang yang cukup dan berfungsi untuk pengaliran air hujan, air rumah tangga maupun air irigasi.



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

- Luas penampang basah trapezium

$$A = (b + zy)y \quad (2.28)$$

- Keliling basah trapezium

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \quad (2.29)$$

- Jari-jari hidrolis trapezium

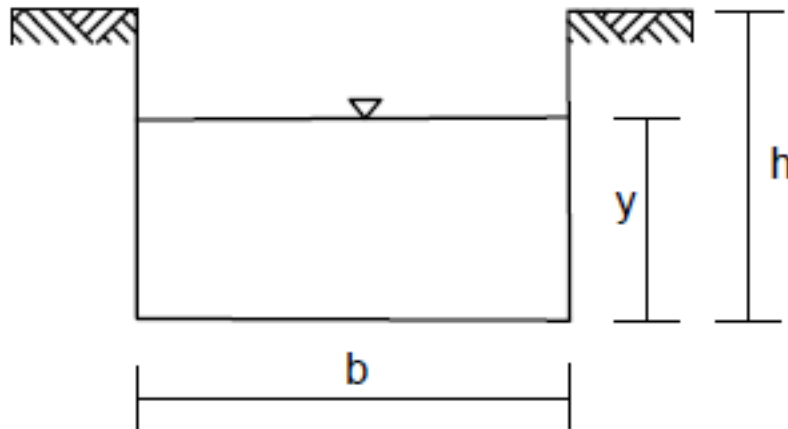
$$R = \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}} \quad (2.30)$$

- Lebar puncak

$$T = b + 2zy \quad (2.31)$$

2. Bentuk Persegi

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



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

- Luas penampang basah persegi

$$A = b \cdot y \quad (2.32)$$

- Keliling Basah persegi

$$P = b + 2y \quad (2.33)$$

- Jari-jari hidrolis persegi

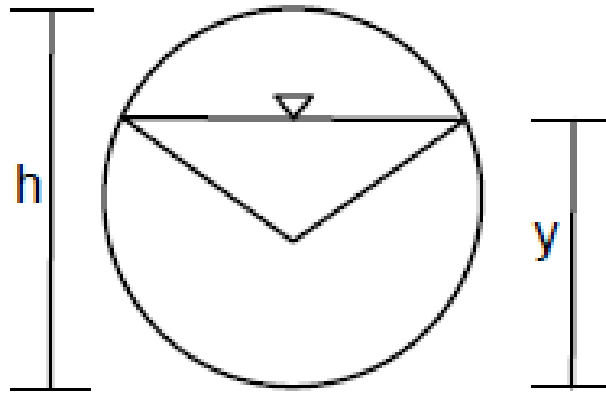
$$R = A/P \quad (2.34)$$

- Tinggi jagaan

$$w = \sqrt{0,5 \cdot y} \quad (2.35)$$

3. Bentuk Lingkaran

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



Gambar 2.6 Saluran Bentuk Lingkaran
(Sumber: Suripin, 2004)

- Luas penampang basah lingkaran

$$A = \frac{1}{2}(\theta - \sin \theta)h^2 \quad (2.36)$$

- Keliling basah lingkaran

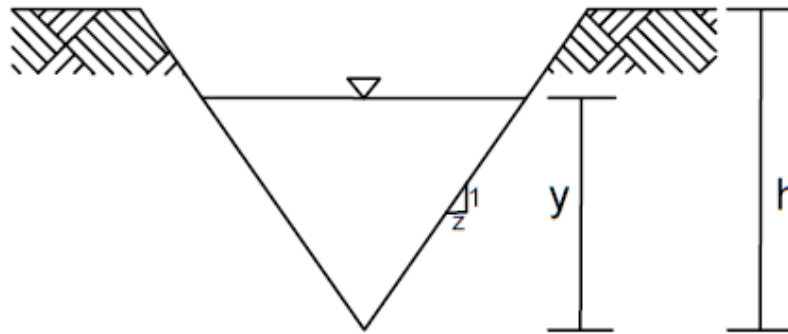
$$P = \frac{1}{2} \theta h^2 \quad (2.37)$$

- Jari-jari hidrolis lingkaran

$$R = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) h \quad (2.38)$$

4. Bentuk Segitiga

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



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

- Luas penampang basah segitiga

$$A = zy^2 \quad (2.39)$$

- Keliling basah segitiga

$$P = zy\sqrt{1 + z^2} \quad (2.40)$$

- Jari-jari hidrolis segitiga

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

2.3.2 Kapasitas Saluran

Besarnya kapasitas saluran drainase dapat ditentukan berdasarkan dimensi saluran pada peta jaringan drainase. Kapasitas saluran dapat dihitung dengan menggunakan rumus kontinuitas sebagai berikut (Triatmojo, 2008).

$$Q = A \cdot V \quad (2.42)$$

Keterangan:

Q = Debit aliran (m^3/det)

A = Luas penampang saluran (m^2)

V = Kecepatan aliran (m/detik)

2.3.3 Kecepatan Aliran

Kecepatan minimum yang diijinkan adalah kecepatan terkecil yang tidak menimbulkan pengendapan dan tidak merangsang tumbuhnya tanaman aquatic serta lumut. Pada umumnya dalam praktek, kecepatan 0,60 – 0,90 m/det . Dapat digunakan dengan aman apabila persentase lumpur yang ada di air cukup kecil.

Kecepatan 0,75 m/det biasa mencegah tumbuhnya tumbuhan-tumbuhan yang dapat memperkecil daya angkut saluran.

Tabel 2.17 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: Suripin, 2004)

Tabel 2.18 Kemiringan Rata-Rata Saluran Terhadap Kecepatan Rata-Rata

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

(Sumber: Hasmar, 2011)

Kecepatan saluran dihitung berdasarkan persamaan Manning sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (2.43)$$

Keterangan:

V = Kecepatan aliran (m/det)

N = Koefisien kekasaran manning

R = Jari-jari hidrolis (m)

S = Kemiringan saluran

2.3.4 Koefisien Kekasaran Manning

Koefisien kekasaran manning tergantung dari macam-macam jenis saluran, baik berupa saluran tanah maupun dengan pasangan, besarnya koefisien manning dapat mengacu pada tabel berikut ini:

Tabel 2.19 Koefisien Kekasaran Manning, n

No.	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
I	Saluran Buatan :				
1.	Saluran tanah, lurus teratur	0,017	0,020	0,023	0,025
2.	Saluran tanah, yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,030	0,040
3.	Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur	0,023	0,030	0,033	0,035
4.	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,040	0,045	0,045
5.	Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh – tumbuhan	0,025	0,030	0,035	0,040
6.	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,030	0,033	0,035
7.	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,020	0,025	0,028	0,030
II	Saluran Alam :				
8.	Bersih, lurus, tidak berpasir, tidak berlubang	0,025	0,028	0,030	0,033
9.	Seperti No. 8, tapi ada tumbuhan, atau kerikil	0,030	0,033	0,035	0,040
10.	Melengkung, bersih, berlubang dan berdinding, pasir	0,033	0,035	0,040	0,045
11.	Seperti No. 10, dangkal, tidak teratur	0,040	0,045	0,050	0,055
12.	Seperti No. 10, berbatu dan ada tumbuh – tumbuhan	0,035	0,040	0,045	0,050
13.	Seperti No. 11, sebagian berbatu	0,045	0,050	0,055	0,060
14.	Aliran pelan, banyak tumbuhan dan berlubang	0,050	0,060	0,070	0,080
15.	Banyak tumbuh – tumbuhan	0,075	0,100	0,125	0,150
III	Saluran Buatan, Beton Atau Batu Kali :				
16.	Saluran pasangan batu, tanpa finishing	0,025	0,030	0,033	0,035
17.	Seperti No. 16, tapi dengan finishing	0,017	0,020	0,025	0,030
18.	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19.	Saluran beton halus dan rata	0,010	0,011	0,012	0,013
20.	Saluran beton pracetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21.	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

2.3.5 Kemiringan Dasar dan Dinding Saluran

Kemiringan dasar saluran adalah kemiringan saluran arah memanjang yang pada umumnya dipengaruhi oleh kondisi topografi. Kemiringan dinding saluran disajikan pada tabel dibawah ini.

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

(Sumber: Suripin, 2004)

2.3.6 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 antara 15 sampai 60 cm (Irawan et al., 2020).

$$W = \sqrt{0,5 \cdot h} \quad (2.44)$$

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)

2.4 Pemodelan Aplikasi EPA SWMM 5.2

EPA SWMM 5.2 (*Environmental Protection Agency Storm Water Management Model*) merupakan model dinamik simulasi hujan aliran (*rainfall – runoff*) yang digunakan untuk simulasi kuantitas maupun kualitas limpasan permukaan terutama dari daerah perkuotaan. Limpasan permukaan yang dihasilkan berasal dari daerah tangkapan hujan yang menerima hujan. Beban limpasan permukaan tersebut kemudian dialirkan melalui sistem saluran pipa, saluran terbuka, tampungan, pompa dan sebagainya. SWMM 5.2 menghitung kuantitas dan kualitas limpasan permukaan disetiap daerah tangkapan hujan, debit, kedalaman, kecepatan dan *variabel* lainnya tiap saluran selama periode simulasi dengan tahapan waktu tertentu.

EPA SWMM 5.1 memodelkan sistem drainase sebagai rangkaian aliran melalui empat bagian utama, yaitu di atmosfer, permukaan tanah, bawah permukaan tanah dan jaringan drainase. Penjelasan masing – masing bagian berikut komponen objeknya dijabarkan sebagai berikut:

1. Bagian atmosfer, untuk mempresentasikan hujan sebagai *input* bagi sistem drainase. Hujan tersebut dipresentasikan dalam objek *Rain gage*.
2. Bagian permukaan tanah, yang mempresentasikan daerah tangkapan hujan yang menerima hujan dari bagian atmosfer kemudian mengalirkannya dalam bentuk *infiltrasi* ke bagian bawah permukaan tanah dan juga limpasan permukaan untuk bagian jaringan drainase. Bagian ini dimodelkan menggunakan objek *subcatchment*.
3. Bagian bawah permukaan tanah, yang menerima *infiltrasi* dari bagian permukaan tanah dan mengalirkannya sebagai aliran dasar nbagai bagian jaringan drainase. Bagian ini dimodelkan menggunakan objek *aquifer*.
4. Bagian jaringan drainase, terdiri dari saluran drainase, pompa dan *regulator*, serta unit tampungan yang mengalirkan air menuju ke saluran buang. Aliran masuk dari bagian ini berasal dari limpasan permukaan, aliran dasar (air tanah) dan aliran masuk lainnya. Komponen dari bagian ini dimodelkan dalam objek *node* dan *link*.

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

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

b. Subcatchment

Objek *subcatchment* merupakan satuan wilayah / lahan yang dibatasi oleh pemisah topografi dan mengalirkan limpasan permukaan pada suatu titik luaran (*outlet*) yang sering disebut sebagai daerah aliran sungai (DAS) atau daerah tangkapan hujan. Penentuan daerah tangkapan hujan ini umumnya dilakukan melalui analisis topografi seperti *Digital Elevation Model* (DEM) suatu wilayah, sehingga dapat ditentukan luasan yang memberikan kontribusi aliran di suatu titik outlet.

Subcatchment tersebut dibagi menjadi luasan – luasan lebih kecil yang bersifat lolos air (*pervious*) dan kedap air (*impervious*). Limpasan permukaan dapat terinfiltrasi masuk kedalam tanah melalui luasan yang lolos air, namun tidak dapat terinfiltrasi pada luasan yang kedap air.

c. Junction / Nodes

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

d. Conduit / Links

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, Angka kekasaran atau angka *manning*. Besarnya angka *manning* tergantung dari jenis bahan yang digunakan pada saluran.

e. *Outfalls*

Outfalls 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*

f. *Flow Divider Nodes*

Flow Divider Nodes merupakan simpul sistem drainase yang mengalihkan aliran masuk kepada saluran tertentu dengan batasan/ketentuan yang ditetapkan. Sebuah *Flow Divider* hanya boleh memiliki dua saluran keluar saja.

g. *Storage Units*

Objek *Storage Units* merupakan impuls sistem drainase yang menyediakan volume tampungan. Secara fisik, objek tersebut mempresentasikan bangunan penampung seperti kolam detensi atau retensi dan waduk atau danau. Fungsi tampungan dideskripsikan sebagai fungsi dari luas permukaan tampungan terhadap tinggi air. Fungsi utama *storage units* dalam sistem drainase adalah sebagai penahan dan penunda puncak banjir, dimana tampungan dapat menahan aliran masuk (limpasan permukaan) kemudian mengeluarkannya dengan besaran yang lebih kecil dan waktu yang lebih lama kedalam sistem.

h. *Pumps*

Pump (pompa) digunakan untuk mengangkat atau menaikkan air ke elevasi yang lebih tinggi. Kapasitas sebuah pompa dipresentasikan dalam kurva pompa.

i. *Flow Regulator*

Objek *Flow Regulator* merupakan struktur yang digunakan untuk mengatur dan mengalihkan aliran dalam sistem pengaliran. Umumnya *Flow Regulator* digunakan untuk:

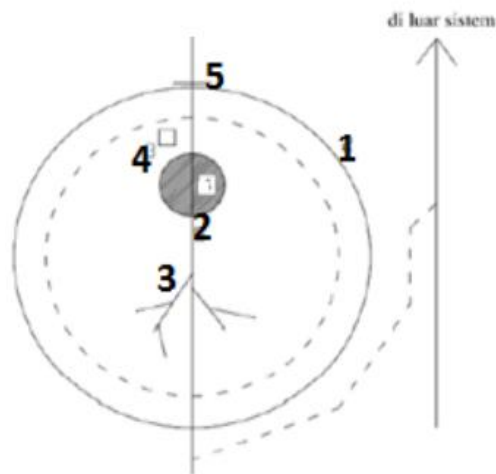
1. Mengatur aliran keluar dari tampungan/kolam
2. Mencegah penggenangan yang tidak diinginkan
3. Mengalihkan aliran kepada unit pengolahan air

2.5 Sistem Polder

Polder didefinisikan sebagai suatu kawasan atau lahan reklamasi dengan kondisi awal mempunyai muka air tanah tinggi, yang diisolasi secara hidrologis dari daerah di sekitarnya dan kondisi muka air (air permukaan dan air tanah) dapat dikendalikan. Kondisi lahannya sendiri dibiarkan pada elevasi asalnya atau sedikit ditinggikan (Suripin, 2004). Komponen-komponen yang ada pada sistem polder meliputi:

1. Tanggul keliling atau pertahanan laut dan konstruksi isolasi lainnya.
2. Sistem drainase lapangan
3. Sistem pembawa
4. Kolam penampung dan stasiun pompa
5. Badan air penerima

Sistem polder terdiri dari beberapa komponen yang membentuk satu kesatuan untuk menunjang keberhasilan sistem drainase. Berikut gambar komponen-komponen sistem polder (Dwi Prayoga & Tegar A Sri Sangkawati, 2013).



Gambar 2.8 Komponen Sistem Polder
(Sumber: Suripin, 2004)

Keterangan:

1. Tanggul
2. Kolam
3. Jaringan saluran drainase
4. Stasiun pompa
5. Pintu air

Drainase sistem polder secara umum dapat digunakan pada kondisi sebagai berikut:

1. Elevasi muka tanah lebih rendah dibanding dengan elevasi muka air laut pasang, sehingga pada daerah tersebut akan sering terjadi genangan akibat air laut pasang yang masuk ke daratan (rob)
2. Elevasi muka tanah lebih rendah daripada muka air banjir di sungai (pengendali banjir) yang merupakan *outlet* dari saluran drainase kota
3. Daerah yang mengalami penurunan, sehingga daerah yang semula lebih tinggi dari muka air laut pasang maupun muka air banjir di sungai pengendali banjir diprediksikan akan tergenang akibat air laut pasang maupun *backwater* dari sungai pengendali

Pembuatan sistem polder bertujuan untuk pengendalian banjir. akan tetapi, dalam mendesain sistem polder sasaran yang ingin dicapai tidak hanya sebatas itu. Ada tiga tujuan utama yang mendasari pembuatan desain sistem polder yaitu (Bakhtiar et al., 2021):

1. Untuk menciptakan suatu kawasan rendah yang rawan banjir menjadi daerah yang relatif terkontrol dari banjir dan genangan, yang akan memberikan kenyamanan dalam mempergunakan lahan sesuai peruntukannya
2. Lebih menjamin keberlanjutan sistem pengelolaan tata air dengan peran yang lebih besar diberikan pada partisipasi masyarakat
3. Untuk menciptakan kondisi lingkungan yang lebih baik, terutama peningkatan kualitas air.

Drainase sistem polder mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (Suripin, 2004):

1. Polder adalah daerah yang dibatasi dengan baik, dimana air yang berasal dari luar kawasan tidak diperbolehkan masuk, hanya air hujan dan kadang-kadang air rembesan pada kawasan itu sendiri yang dikumpulkan
2. Dalam polder tidak aliran permukaan bebas seperti pada daerah tangkapan air alamiah, tetapi dilengkapi dengan bangunan pengendali pada pembuangannya (dengan penguras atau pompa) untuk mengendalikan aliran air ke luar
3. Muka air di dalam polder (air permukaan dan air bawah permukaan) tidak bergantung pada permukaan air di daerah sekitarnya dan dinilai berdasarkan elevasi lahan, sifat tanah, iklim dan tanaman.

2.5.1 Kolam Pengumpul dan Kapasitas Tampungan

Kolam pengumpul berfungsi sebagai tempat menampung air pada sistem, kemudian pompa ke luar sistem. Tampungan pada kedua komponen tersebut harus diperhitungkan sedemikian rupa sehingga tidak terjadi sisa air dalam sistem yang akan menyebabkan banjir. pada kolam retensi ini, volume tampungan total didesain berdasarkan aliran debit yang masuk kedalam kolam disesuaikan dengan hidrograf banjir dan hidrograf yang terbentuk akibat pompa.

$$Q_i - Q_o = \frac{dV}{dt} \quad (2.45)$$

Keterangan:

Q_i = Laju aliran masuk (m^3/det)

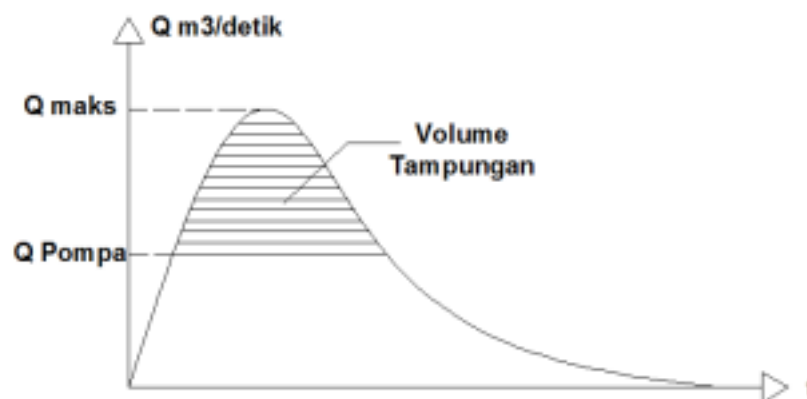
Q_o = Laju aliran keluar atau kapasitas pompa (m^3/det)

V = Volume tampungan (m^3)

t = Waktu (det)

Ketinggian muka air maksimum di kolam harus mampu menjamin dapat melayani jaringan saluran drainase dan saluran kolektor agar debit banjir dapat masuk ke kolam tanpa adanya pengaruh *back water* (Arbaningrum, 2018).

Volume kolam tampungan serta kapasitas pompa ditentukan berdasarkan keseimbangan antara *inflow* (hidrograf banjir) yang masuk ke dalam kolam, kapasitas pompa dan kapasitas kolam penampung serti ditampilkan pada gambar berikut ini:



Gambar 2.9 Volume Tampungan Kolam Berdasarkan Kapasitas Pompa dan Debit
(Sumber: Suripin, 2004)

Tahap-tahap perencanaan kapasitas kolam retensi dan pompa adalah sebagai berikut:

1. Buat unit hidrograf daerah perkotaan, kemudian jumlahkan masing-masing ordinatnya. Sehingga diperoleh debit rencana maksimum dengan gambar hidrografnya.
2. Hitung volume komulatif air yang masuk kedalam kolam retensi dari hidrograf
3. Gambarkan hasil perhitungan volume komulatif dari butir 2 diatas dalam koordinat orthogonal dengan ordinat besarnya volume komulatif dan absis besarnya waktu
4. Hitung volume komulatif pompa untuk berbagai kapasitas pompa dan terapkan pada komulatif air yang masuk kolam retensi dari butir 3 diatas
5. Ukur ordinat yang terletak antara garis volume komulatif pompa dengan garis singgung volume komulatif air yang masuk kedalam kolam retensi seperti pada butir 4 diatas, menunjukan volume air yang tertinggal dalam kolam retensi
6. Hitung luas kolam retensi yang diperlukan dengan membagi volume komulatif yang tertinggal didalam kolam retensi seperti pada butir 5 dengan rencana dalamnya air efektif di kolam retensi
7. Lakukan langkah butir 4, 5, 6 diatas berulang-ulang, sehingga diperoleh biaya yang efisien dan efektif dalam menentukan luas kolam retensi dan kapasitas pompa yang dibutuhkan
8. Hitung kebutuhan head pompa dari elevasi muka air minimum di kolam retensi ke muka air maksimum banjir di sungai atau muka air pasang tertinggi di Laut
9. Pilih tipe pompa sesuai kebutuhan yang ada

2.5.2 Pompa

Daerah yang alirannya tidak sesuai dengan drainase sistem gravitasi dinamakan daerah drainase interior. Sistem drainase yang tidak dapat sepenuhnya mengandalkan gravitasi sebagai faktor pendorong, maka perlu dilengkapi dengan stasiun pompa. Pompa ini bertujuan untuk membantu mengalirkan air dari daerah yang rendah ke daerah yang lebih tinggi ke saluran pembuangan yang lebih besar,

sehingga mampu mencegah adanya genangan air atau banjir. Hal yang berkaitan dengan pengendalian banjir dandrainase maka pompa ini dibangun bersamaan dengan rumah pompa.

Pompa dapat diklarifikasikan kedalam dua kelompok, yaitu pompa turbo (*rotodynamic pump*) dan non turbo (*positive displacement pump*). Pompa turbo terdiri dari pompa sentrifugal, aliran campuran, dan aliran aksial. Sedangkan non turbo terdiri dari pompa *regenerative*, pompa torak, pompa *rotary*, pompa *vaccum*, dan pompa jet (Suripin, 2004). Dalam perencanaan hidrolika sistem pompa, perlu dipelajari hal-hal berikut (Isyahputri, 2021):

1. Aliran masuk (*inflow*) ke kolam tampungan
2. Tinggi muka air sungai
3. Kolam penampung dan volume tampungan
4. Ketinggian air maksimum dan kapasitas pompa yang diperlukan
5. Dimensi penguras
6. Pengaruh pompa
7. Pola operasi pompa

Langkah perhitungan pompa dengan menghitung dapat dilihat dibawah ini:

1. Menghitung besarnya aliran masuk (*input*)

$$Jam\ ke- = \frac{interval\ jam \times debit}{2} \times 2600\ m^3 \quad (2.46)$$

2. Menentukan besaran aliran keluar (*output*)

$$Jam\ ke- = interval\ jam \times jumlah \times kaps \times 3600\ m^3 \quad (2.47)$$

3. Menghitung tinggi genangan dan volume genangan

$$Volume\ genangan = inflow - outflow \quad (2.48)$$

$$Tinggi\ genangan = \frac{volume\ genangan}{luas\ kolam} \quad (2.49)$$

Pada stasiun pompa perlu dilengkapi dengan pintu penguras. Fungsi pintu penguras adalah sebagai berikut (Suripin, 2004):

- Mencegah terjadinya instruksi air laut di daerah rendah selama terjadi banjir di sungai utama atau selmaa terjadi pasang
- Membuang air dari drainase interior dengan aman secara gravitasi baik dari dalam saluran maupun kolam pada saat air di sungai utama rendah

Kapasitas penguras harus mampu mengalirkan debit puncak pada kondisi muka air di saluran utama normal. Elevasi dasar penguras direncanakan dengan memperhatikan dasar saluran dasar saluran utama, kelancaran aliran selama air rendah dan intrusi air asin (Suripin, 2004).

Pola operasi sistem drainase dengan stasium pompa berdasarakan pada muka air pada sungai induk dan kolam penampung. Pada saat muka air pada kolam lebih rendah dari pada muka air di sungai induk, pintu dibuka dan pompa dioperasikan. Sebaliknya, pada saat muka air di kolam lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi muka air di sungai induk, operasi pompa dihentikan dan pintu dibuka (Suripin, 2004).