

BAB 2 LANDASAN TEORITIS

2.1 Sistem Drainase

Secara umum sistem drainase dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal (Suripin, 2004). Dilihat dari hulunya, bangunan sistem drainase terdiri dari saluran penerima (*interceptor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*) dan badan air penerima (*receiving waters*). Di sepanjang sistem sering dijumpai bangunan lainnya, seperti gorong-gorong, siphon, jembatan air (*aqueduct*), pelimpah, pintu-pintu air, bangunan terjun, kolam tando dan stasiun pompa. Pada sistem yang lengkap, sebelum masuk ke badan air penerima, air diolah dahulu di instalasi pengolah air limbah (IPAL), khususnya untuk sistem tercampur. Hanya air yang telah memenuhi baku mutu tertentu yang dimasukkan ke badan air penerima, sehingga tidak merusak lingkungan.

Drainase sering diabaikan oleh ahli hidraulik dan seringkali direncanakan seolah-olah bukan pekerjaan penting, atau paling tidak dianggap kecil dibandingkan dengan pekerjaan-pekerjaan pengendalian banjir. Padahal pekerjaan drainase merupakan pekerjaan yang rumit dan kompleks, bisa jadi memerlukan biaya, tenaga dan waktu yang lebih besar dibandingkan dengan pekerjaan pengendalian banjir. Secara fungsional, sulit memisahkan secara jelas sistem drainase dan pengendalian banjir. Namun, secara praktis kita dapat mengatakan

bahwa drainase menangani kelebihan air sebelum masuk ke alur-alur besar atau sungai.

Saluran drainase menurut letaknya terdiri dari saluran drainase permukaan tanah yang berfungsi untuk mengalirkan air limpasan permukaan, dan saluran drainase di bawah permukaan tanah yaitu saluran drainase yang berfungsi untuk mengalirkan air limpasan permukaan melalui media bawah permukaan tanah (pipa-pipa). Saluran drainase menurut konstruksinya dapat dibedakan atas saluran terbuka dan saluran tertutup, sedangkan jaringan saluran drainase terdiri dari saluran drainase primer, saluran drainase sekunder, dan saluran tersier. Saluran drainase harus memiliki saluran pembuangan yang sesuai dengan kondisi lahan dan lingkungannya. Perencanaan sistem drainase suatu kawasan, harus memperhatikan pola jaringan drainase yang diperhatikan dengan mempertimbangkan topografi dan tataguna lahan kawasan tersebut. Model tata letak jalur saluran yang dapat diterapkan dalam perencanaan drainase dapat dilihat seperti contoh berikut ini.

2.2 Debit Limpasan

2.2.1 Analisis Hidrologi

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

2.2.1.1 Hujan Kawasan

Data hujan yang diperoleh dari alat hujan merupakan hujan yang hanya terjadi pada satu tempat atau satu titik saja. Hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan sangat luas tidak bisa diwakili satu titik pos pengukuran. Hujan kawasan diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa pos pengukuran hujan yang ada di sekitar kawasan tersebut (Suripin, 2004). Ada 3 macam cara yang umum dipakai dalam menghitung hujan rata-rata kawasan, diantaranya metode Rerata Aritmatik, *Polygon Thiessen* dan *Isohyet*.

a. Rata-rata Aljabar (Rata-rata Aritmatika)

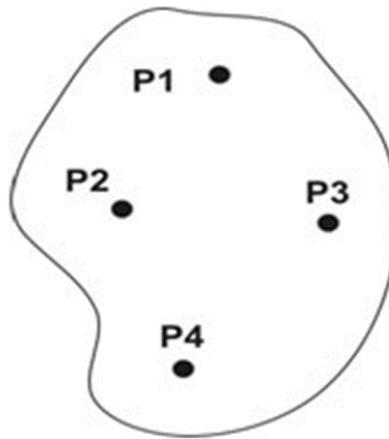
Metode rata-rata aritmatika ini merupakan metode yang paling sederhana dan diperoleh dengan menghitung rata-rata aritmatika dari semua total penakar hujan disuatu kawasan. Metode ini sesuai dengan kawasan-kawasan yang datar dan sesuai dengan DAS-DAS dengan jumlah penakar hujan yang besar yang di distribusikan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

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

Keterangan:

P = Hujan rerata kawasan

n = Jumlah stasiun



Gambar 2. 1 Metode Rata-rata Aritmatika

(Triatmodjo, 2006)

b. Metode *Polygon Thiessen*

Metode *polygon thiessen* dikenal juga sebagai metode rata-rata timbang (*weighted average*). Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan (faktor pembobot) untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat. Prosedur penerapan metode ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

1. Lokasi pos penakar hujan diplot pada peta DAS, antar pos penakar dibuat garis lurus penghubung
2. Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk *Polygon Thiessen*
3. Luas area pada tiap-tiap *Polygon* dapat diukur dengan menggunakan planimeter dan luas total DAS (A) dapat diketahui dengan menjumlahkan seluruh luasan polygon.
4. Hujan rata-rata DAS dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

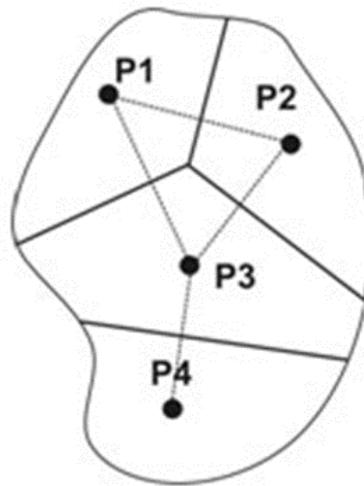
$$\bar{p} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.2)$$

Keterangan:

\bar{p} = Hujan 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

(Triatmodjo, 2006)

c. Metode Isohyet

Metode isohyet merupakan 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 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 2 (dua) Isohyet yang berdekatan.
4. Hujan rata-rata DAS dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

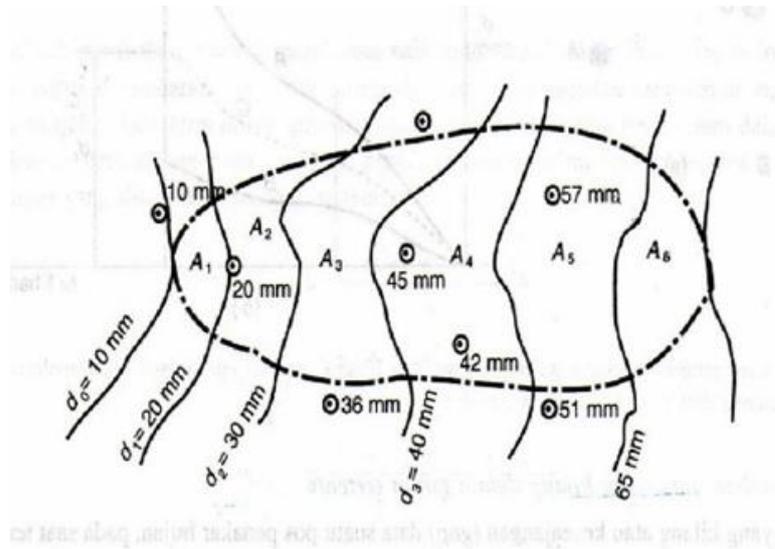
$$\bar{p} = \frac{A_1 \frac{P_1+P_2}{2} + A_2 \frac{P_2+P_3}{2} + A_3 \frac{P_3+P_4}{2} + \dots + A_n \frac{P_{n-1}+P_n}{2}}{A_1+A_2+A_3+\dots+A_n} \quad (2.3)$$

Keterangan:

P = Hujan rerata kawasan

In = Curah hujan pada masing-masing stasiun

An = Luas area dari titik I



Gambar 2. 3 Metode Isohyet
(Triatmodjo, 2006)

2.2.1.2 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung (*independent*) dan terdistribusi secara acak dan bersifat stokastik (Suripin, 2004). Dalam bidang hidrologi terdapat beberapa macam distribusi frekuensi dan empat jenis distribusi yang digunakan, yaitu:

a. Distribusi Normal

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

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

Keterangan:

X_T = Hujan maksimum dalam periode ulang T tahun

\bar{X} = Nilai rata-rata hitung varian

S = Deviasi standar nilai varian

K_T = Faktor reduksi gauss

Nilai faktor reduksi gauss yang didapat untuk mempertimbangkan nilai variable yang di sajikan pada Tabel 2.1 (Suripin, 2004).

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

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	K_T
3	1,010	0,990	-2,330
4	1,050	0,950	-6,640
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	-0,520
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	1,640
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	1000,000	0,001	3,090

(Sumber : Suripin, 2004)

b. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritma varian X.

Perhitungan curah hujan rencana menggunakan persamaan berikut ini:

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

Keterangan:

X = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan

S = Nilai rata-rata hitung variasi

K_T = Faktor reduksi gauss

c. Distribusi Log Person Type III

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

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

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

Keterangan:

X_T = Hujan maksimum dimana periode ulang tahunan

X = Curah hujan rata-rata dengan log x

S = Deviasi standar nilai variat

K_T = Faktor Frekuensi

Nilai faktor frekuensi untuk metode Log Person Type III disajikan pada Tabel 2.2 (Suripin, 2004).

Tabel 2. 2 Nilai K_T Metode Log Person 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

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
15	0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,471
16	0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
17	-,02	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
18	-,04	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
19	-,06	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
20	-,08	0,132	0,132	0,856	1,389	1,448	1,733
21	-,10	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
22	-,12	0,195	0,844	1,068	1,282	1,379	1,449
23	-,14	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
24	-,16	0,254	0,817	0,994	1,116	1,1297	1,197
25	-,18	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
26	-,20	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	1,990
27	-,22	0,333	0,725	0,884	0,888	0,900	1,950
28	-,24	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
29	-,26	0,368	0,969	0,747	0,74	1,768	0,769
30	-,28	0,384	0384	0,666	0,711	0,712	0,714
31	-,30	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

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

2. Deviasi Standar

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

3. Koefisien Variasi

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

4. Koefisien *Skewness*

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

5. Koefisien *Kurtosis*

$$Ck = \frac{n^2 \sum (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad (2.12)$$

d. Distribusi Gumbel

Distribusi gumbel ini biasanya menggunakan harga ekstrim untuk digunakan analisa data maksimum. Berikut persamaanya distribusi gumbel:

$$X_{TR} = \bar{X} + \frac{(Y_{TR} - Y_n)}{S_n} S \quad (2.13)$$

$$Y_{TR} = -\ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (2.14)$$

Keterangan:

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

Y_{TR} = *Reduce Variate*

Y_n = *Reduce Mean*

S_n = *Reduce standard deviation*

S = Standar deviasi

X = Nilai rata-rata

Parameter-parameter distribusi gumble dapat dipertimbangkan pada table yang telah disajikan, diantaranya Tabel 2.3, Tabel 2.4, dan Tabel 2.5 (Suripin, 2004).

Tabel 2. 3 *Reduce Mean, Yn*

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,495	0,499	0,503	0,507	0,510	0,510	0,513	0,520	0,522	0,552
20	0,523	0,523	0,526	0,528	0,530	0,530	0,532	0,533	0,535	0,535
30	0,536	0,537	0,538	0,538	0,540	0,540	0,541	0,541	0,543	0,543
40	0,543	0,544	0,544	0,545	0,546	0,546	0,546	0,547	0,548	0,548
50	0,546	0,549	0,549	0,549	0,550	0,500	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

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2. 4 *Reduce Standard Deviation, Sn*

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

(Sumber : Suripin, 2004).

Tabel 2. 5 *Reduced Variate, YTR 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

No	Periode Ulang, Tr (Tahun)	Reduced Variate, Y _{Tr}
11	500	6,2149
12	1000	6,9087

(Sumber : Suripin, 2004)

Parameter-parameter statistik yang digunakan, sebagai berikut:

- a. Rata-rata

Parameter yang digunakan adalah (Suripin, 2004).

$$\text{Log}\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}x_i}{n} \quad (2.15)$$

- b. Standar Deviasi

Parameter Standar Deviasi digunakan adalah (Soewarno, 1995):

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}x_i - \text{Log}\bar{x})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (2.16)$$

- c. Koefisien *Skewness* (Koefisien Kepencengan)

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

$$G = C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (2.17)$$

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

Tabel 2. 6 Syarat-syarat Batas Penentuan Sebaran

No	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

No	Distribusi	Syarat
		Ck = 5,4
4	Log Person III	Selain dari nilai diatas

(Sumber : Suripin, 2004)

2.2.1.3 Uji Kecocokan

Uji Kecocokan dilakukan untuk memntukan pola distribusi dan debit rata-rata yang paling sesuai dengan distribusi statistik yang telah dilakukan. Pengujian ini dilakukan terhadap data curah hujan dengan memperhitungkan frekuensi terjadinya hujan. Uji kecocokan ini digunakan untuk menguji dan mendapatkan metode yang terbaik untuk perhitungan selanjutnya.

Berikut beberapa parameter pengujian yang sering digunakan:

a. Uji Chi-Kuadrat

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

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} \quad (2.18)$$

Dengan:

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 Xh^2 merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai Xh^2 sama atau lebih kecil dari pada nilai Chi-Kuadrat yang sebenarnya (X^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	19,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,448	20,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32	34,276
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,857	30,191	33,409	35,718
18	6,225	7,015	8,231	9,39	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,114	32,853	36,191	38,582
20	7,434	8,26	9,591	10,851	31,14	34,17	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,26	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,98	45,558
25	10,52	11,524	13,12	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,16	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,29
27	11,808	12,897	14,753	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,733	46,979	50,892	53,672

(Sumber : Suripin, 2004)

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

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

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

1. Mengurutkan data (X_i) dari yang besar ke kecil atau sebaliknya.
2. Menentukan peluang teoritis masing-masing data yang sudah diurut dengan rumus.
3. Menentukan peluang teoritis masing-masing data yang sudah diurut berdasarkan persamaan distribusi probabilitas yang dipilih.
4. Menghitung selisih (D_o) antara peluang empiris dan teoritis untuk setiap data yang sudah diurut.

Tabel 2. 8 Nilai Kritis D0 untuk uji Smirnov-Kolmogorov

n	<i>Level of Significance (α)</i>				
	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

(Sumber : Suripin, 2004)

2.2.1.4 Analisis Intensitas Hujan

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

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

1. Rumus Talbot

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

$$I = \frac{a}{t+b} \quad (2.19)$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

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

2. Rumus Mononobe

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

$$It = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_{c1}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.20)$$

Keterangan:

It = Intensitas hujan (mm/jam)

T_c = Waktu konsentrasi (jam)

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

3. Rumus Ishiguro

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \quad (2.21)$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

$a&b$ = Konstanta

4. Rumus Sherman

Rumus sherman cocok digunakan untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (2.22)$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

n = Konstanta

2.2.1.5 Analisis Limpasan Permukaan Metode Rasional

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah limpasan permukaan yang terjadi. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode rasional. Metode ini banyak digunakan untuk sungai-sungai biasa dengan daerah pengaliran yang luas dan juga untuk perencanaan drainase daerah pengaliran yang relatif sempit. Bentuk persamaan umum dari metoda rasional adalah sebagai berikut:

$$Q_p = (0,002778) \times C \times I \times A \quad (2.23)$$

Keterangan:

Q_p = Debit pada saluran (m^3/det)

C = Koefisien aliran permukaan tergantung pada karakteristik DAS
($0 < C < 1$)

I = Intensitas Curah Hujan (mm/jam)

A = Luas DAS (ha)

Koefisien limpasan permukaan ditentukan oleh beberapa parameter yaitu, tekstur tanah, kemiringan daerah dan jenis tutupan lahan. Keuntungan menggunakan metode rasional adalah kemudahannya dalam memberikan informasi perkiraan limpasan permukaan tanpa mengkhawatirkan sedikitnya data yang tersedia. Untuk daerah-daerah dengan data hidrologi yang terbatas, metode ini sangat baik untuk diterapkan.

2.2.2 Analisis Hidraulika

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

2.2.2.1 Bentuk Saluran

Saluran drainase jalan menggunakan penampang hidrolis terbaik, yakni dengan luas minimum yang mampu membawa debit maksimum. Secara umum,

debit yang mampu dibawa oleh saluran drainase dapat didekati dengan menggunakan persamaan Manning sebagai berikut (Resmani, 2017)

$$Q_{sal} = V_{sal} \cdot A_{sal} \quad (2.24)$$

$$V_{sal} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \cdot S_{sal}^{0,5} \quad (2.25)$$

Keterangan:

Q_{sal} = Debit pada saluran (m³/det)

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

A_{sal} = Luas penampang basah (m²)

n = Koefisien kekasaran manning

R = Jari-jari hidrolis (m)

S_{sal} = Kemiringan dasar saluran

Tabel 2. 9 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 pasangan.	0,013	0,014	0,015
6	Saluran batuan, lurus beraturan.	0,030	0,033	0,035
7	Saluran batuan, vegetasi pada sisinya.	0,030	0,035	0,040

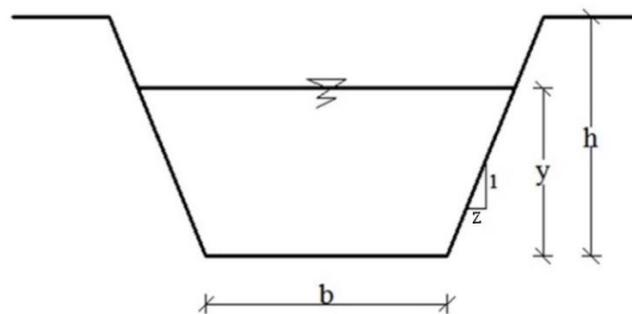
No	Tipe Saluran	Kondisi		
		Baik	Cukup	Buruk
8	Dasar tanah, sisi batu koral.	0,030	0,030	0,040
9	Saluran berliku-liku kecepatan rendah.	0,025	0,028	0,030
	Saluran Alami:	0,028	0,030	0,033
1	Bersih, lurus, tapi tanpa pasir dan tanpa celah.	0,033	0,035	0,040
2	Bersih, lurus, tapi tanpa pasir, tanpa celah,	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	0,060
6	& tak teratur	0,060	0,070	0,080
7	Berliku, bersih, tapi berpasir, berlubang, batuan	0,100	0,125	0,150
8	dan vegetasi. 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

(Sumber : Suripin, 2004)

Fungsi dan unsur geometris penampang saluran:

a. Trapesium

Trapesium berfungsi untuk menyalurkan limbah dan air hujan dengan debit besar yang sifat alirannya terus menerus dengan fluktuasi kecil. Lokasinya pada daerah yang masih cukup lahan. (Sumber : Suripin, 2004)



Gambar 2. 4 Penampang Saluran Trapesium

Keterangan :

b = Lebar penampang saluran

y = Tinggi muka air

h = Tinggi penampang saluran

z = kemiringan

Rumus :

$$\text{Luas (A)} = (b + zy)y \quad (2.26)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \quad (2.27)$$

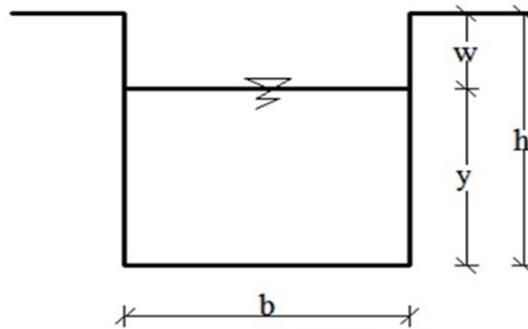
$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}} \quad (2.28)$$

$$\text{Lebar puncak (T)} = b + 2zy \quad (2.29)$$

$$\text{Faktor penampang (z)} = \frac{(b+zy)y^{1,5}}{\sqrt{b+2zy}} \quad (2.30)$$

b. Persegi

Persegi sama dengan trapesium, bedanya adalah dimana lokasi jalur saluran tidak atau kurang tersedia lahan yang cukup. (Sumber : Suripin, 2004)



Gambar 2. 5 Penampang Saluran Persegi

$$\text{Luas (A)} = b \cdot y \quad (2.31)$$

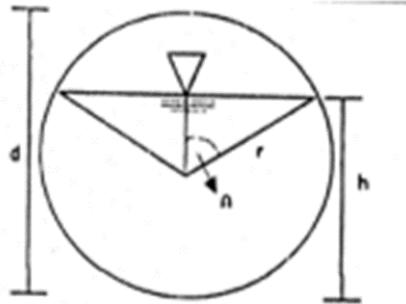
$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2y \quad (2.32)$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{A}{P} \quad (2.33)$$

$$\text{Tinggi jagaan (w)} = \sqrt{0,5xh} \quad (2.34)$$

c. Lingkaran

Lingkaran berfungsi untuk menyalurkan air bersih, limbah dan air hujan. Pada penggunaannya biasanya untuk gorong-gorong atau pipa distribusi air bersih. (Sumber : Suripin, 2004)

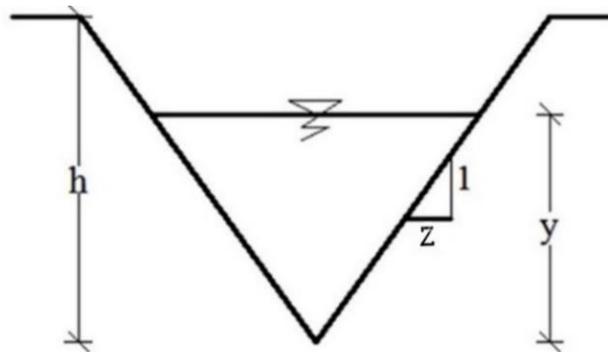


Gambar 2. 6 Penampang Saluran Lingkaran (Saluran Tertutup)

d. Segitiga

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

(Sumber : Suripin, 2004)



Gambar 2. 7 Penampang Saluran Segitiga

$$\text{Luas penampang basah (A)} = zy^2 \quad (2.35)$$

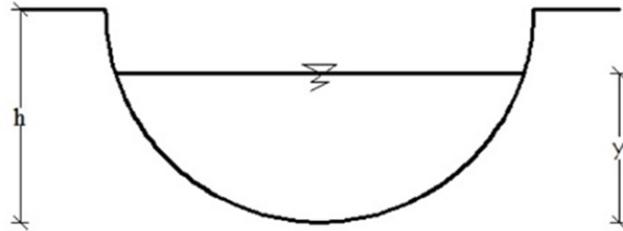
$$\text{Keliling basah (P)} = zy\sqrt{1+z^2} \quad (2.36)$$

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

e. Setengah Lingkaran

Berfungsi untuk menyalurkan limbah air hujan dengan debit kecil.

(Sumber : Suripin, 2004)



Gambar 2. 8 Penampang Saluran Setengah Lingkaran

2.2.2.2 Kapasitas Saluran

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

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

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.39)$$

Dengan:

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

2.2.2.3 Syarat Sistem Pengaliran

a. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dalam saluran biasanya sangat bervariasi dari satu titik ke titik lainnya (Suripin, 2004). Kecepatan yang diijinkan sesuai dengan jenis materialnya di sajikan pada Tabel 2.10 dan kemiringan rata-rata saluran terhadap kecepatan rata-rata pada Tabel 2.11

Tabel 2. 10 Kecepatan yang Diijinkan Sesuai dengan Jenis Materialnya

No	Jenis Bahan	V yang diizinkan
1	Pasir halus	0,45
2	Lempung kepasiran	0,50
3	Lanau alluvial	0,60
4	Kerikil halus	0,75
5	Lempung kokoh	0,75
6	Lempung padat	1,10
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: Hasmar,2011)

Tabel 2. 11 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)

b. Kemiringan Dasar dan Dinding Saluran

Kemiringan dasar saluran adalah kemiringan saluran arah memanjang yang pada umumnya dipengaruhi oleh kondisi topografi. Kemiringan dinding saluran di sajikan pada Tabel 2.12 (Suripin, 2004).

Tabel 2. 12 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 pemasangan batu/tanah untuk saluran besar	1:1
Lempung/tanah untu saluran-saluran kecil	1,5:1
Tanah berpasir lepas	2:1
Lumpur berpasir/lempung porous	3:1

(Sumber : Suripin, 2004)

c. Tinggi Jagaan

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

$$W = \sqrt{0,5xh} \quad (2.40)$$

Keterangan:

W = Tinggi jagaan (m)

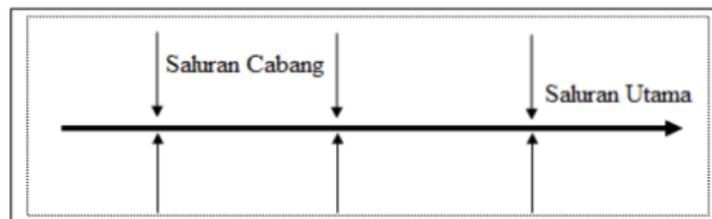
h = Tinggi muka air (m)

2.2.2.4 Tata Letak Jalur Saluran

Menurut (Wesli, 2008) Pola jaringan drainase dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Pola siku

Pola siku adalah suatu pola dimana saluran cabang membentuk siku-siku pada saluran utama. Biasanya dibuat pada daerah yang mempunyai tofografi sedikit lebih tinggi dari pada sungai dimana sungai merupakan saluran pembuang utama yang berada di tengah kota seperti Gambar 2.9.

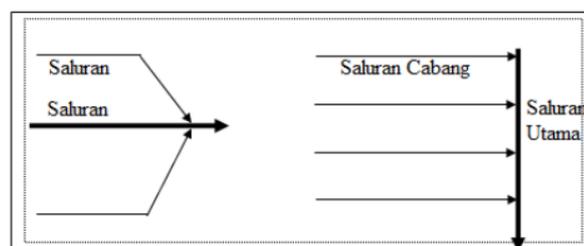


Gambar 2. 9 Drainase Pola Siku

(Sumber : Suripin, 2004)

2. Pola *parallel*

Pola paralel adalah suatu pola dimana saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang yang pada bagian akhir saluran cabang dibelokkan menuju saluran utama. Pada pola paralel saluran cabang cukup banyak dan pendek pendek seperti Gambar 2.10.

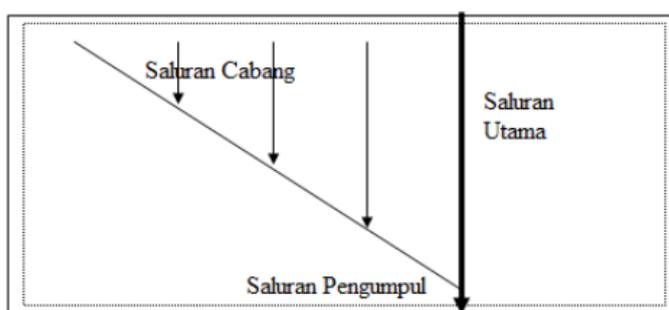


Gambar 2. 10 Drainase Pola *Parallel*

(Sumber : Suripin, 2004)

3. Pola *grid iron*

Pola *grid iron* adalah pola jaringan drainase dimana sungai terletak dipinggiran kota. Sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul kemudian dialirkan pada sungai seperti Gambar 2.11.

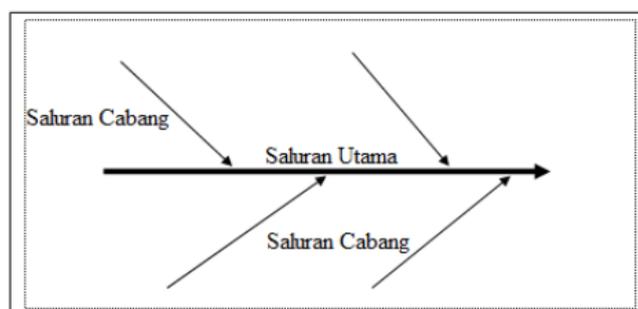


Gambar 2. 11 Drainase Pola *Grid Iron*

(Sumber : Suripin, 2004)

4. Pola alamiah

Pola alamiah adalah suatu pola jaringan drainase yang hampir sama dengan pola siku dimana sungai sebagai saluran berada ditengah kota, namun jaringan saluran cabang tidak terlalu terbentuk siku terhadap saluran utama atau sungai seperti Gambar 2.12.

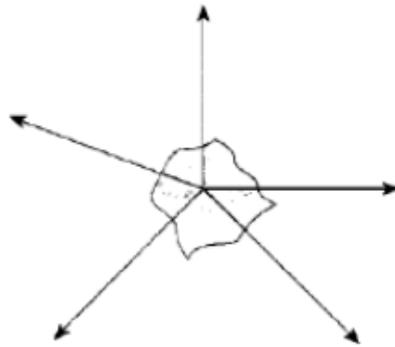


Gambar 2. 12 Drainase Pola Alamiah

(Sumber : Suripin, 2004)

5. Pola radial

Pola radiah adalah pola jaringan drainase yang mengalirkan air dari pusat sumber air memencar ke berbagai arah, pola ini sangat cocok digunakan pada daerah yang bukit seperti diperlihatkan pada Gambar 2.13.

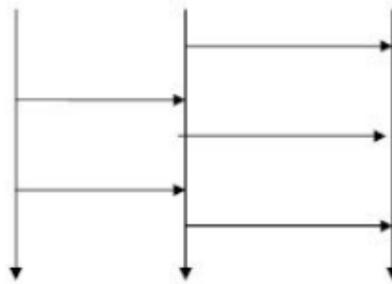


Gambar 2. 13 Drainase Pola Radial

(Sumber : Suripin, 2004)

6. Pola jaring-jaring

Pola jarring-jaring adalah pola drainase yang mempunyai saluran-saluran pembuang mengikuti arah jalan raya. Pola ini sangat cocok untuk daerah yang topografinya datar.



Gambar 2. 14 Drainase Pola Jaring-jaring

(Sumber : Suripin, 2004)

2.2.3 Debit Banjir Rencana

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

Perhitungan debit puncak untuk drainase di daerah perkotaan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus rasional atau hidrograf satuan. Perhitungan debit rencana berdasar periode ulang hujan tahunan, 2 tahunan, 5 tahunan dan 10 tahunan, dan 25 tahunan. Data yang diperlukan meliputi data batas dan pembagian daerah tangkapan air, tataguna lahan dan data hujan. Standar yang telah ditetapkan baik debit rencana dan cara analisis yang dipakai, tinggi jagaan, struktur saluran dll dapat dipakai dalam perencanaan saluran drainase (Dinisari, 2009). Standar desain untuk saluran drainase disajikan pada Tabel 2.14 (Suripin, 2004).

Tabel 2. 13 Standar 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 relatif pendek. Metode rasional ini sangat mudah digunakan namun terbatas pada DTA dengan ukuran kecil tidak lebih dari 500 ha (Juliyanti, 2020).

$$Qp = 0,002778C.I.A \quad (2.41)$$

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)

2.2.3.1 Koefisien Limpasan (*Runoff*)

Koefisien limpasan untuk drainase perkotaan sangat dipengaruhi oleh daerah kedap air. Nilai C komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.42)$$

Keterangan :

A_i = Luas lahan dengan jenis penutup tanah i

C_i = Koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i

n = Jumlah jenis penutup lahan

Koefisien limpasan juga dapat diperkirakan berdasarkan tata guna lahan dan kondisi permukaan lahan. Untuk memperoleh nilai koefisien limpasan disajikan pada Tabel 2.14, Tabel 2.15 dan Tabel 2.16 (Badan Standardisasi Nasional, 2016).

Tabel 2. 14 Koefisien Limpasan dan Persentase Kedap Air Tata Guna Lahan

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

(Sumber : Badan Standardisasi Nasional 2016)

Tabel 2. 15 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan 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	0,30
Lempung dan sejenisnya	Pertanian	0,50
	Padang rumput	0,45
	Hutan	0,40

(Sumber : Badan Standardisasi Nasional 2016)

Tabel 2. 16 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan Kondisi Permukaan

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

(Sumber : Badan Standardisasi Nasional 2016)

2.2.3.2 Waktu Konsentrasi

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

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

$$t_c = t_o + t_d \quad (2.43)$$

Dengan parameter yang digunakan:

$$t_o = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right) \quad (2.44)$$

$$t_d = \frac{Ls}{60v} \quad (2.45)$$

Keterangan:

S = Kemiringan saluran

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

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

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

n = Angka kekasaran manning

Kecepatan rata-rata dapat dipertimbangkan dari nilai kemiringan rata-rata, seperti yang disajikan pada Tabel 2.17 (Hasmar, 2011).

Tabel 2. 17 Kemiringan Rata-rata terhadap Kecepatan Rata-rata

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

(Sumber: Hasmar,2011)

2.2.3.3 Intensitas Hujan

Pengaruh intensitas hujan terhadap limpasan permukaan sangat tergantung pada laju *infiltrasi*. Jika intensitas hujan melebihi laju *infiltrasi*, maka akan terjadi

limpasan permukaan sejalan dengan peningkatan intensitas curah hujan. Namun demikian, peningkatan limpasan permukaan tidak selalu sebanding dengan peningkatan intensitas hujan karena adanya penggenangan dipermukaan tanah. Intensitas hujan berpengaruh pada debit maupun volume limpasan (Suripin, 2004).

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

1. Rumus Talbot

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

$$I = \frac{a}{t+b} \quad (2.46)$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

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

2. Rumus Mononobe

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

$$It = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_{c1}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.47)$$

Keterangan:

It = Intensitas hujan (mm/jam)

Tc = Waktu konsentrasi (jam)

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

3. Rumus Ishiguro

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \quad (2.48)$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

a & b = Konstanta

4. Rumus Sherman

Rumus sherman cocok digunakan untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (2.49)$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

n = Konstanta

2.2.3.4 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 (Lindawati, dkk., 2021).

2.2.4 Simulasi Banjir dengan Aplikasi EPA SWMM 5.2

Storm Water Management Model (SWMM) merupakan model dinamik simulasi hujan-aliran (*rainfall-runoff*) yang digunakan untuk simulasi kuantitas maupun kualitas limpasan permukaan terutama dari daerah perkotaan. 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 menghitung kuantitas dan kualitas limpasan permukaan di setiap daerah tangkapan hujan, dan debit, kedalaman kecepatan, dan variabel lainnya dalam setiap saluran selama periode simulasi dengan tahapan waktu tertentu. (Al amin, 2020)

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

a. *Rain Gages*

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*

Subcatchment adalah luasan yang menerima hujan dan mengalami *infiltrasi* atau mengubahnya menjadi limpasan (Huber et al., 1975). Parameter yang diinputkan dalam *subcatchment* adalah sebagai berikut:

1. Luas (*Area*) : Luas *subcatchment*.
2. Lebar (*Width*) : Panjang aliran.
3. Kemiringan (% *slope*) : Persentase kemiringan *subcatchment*.
4. % kedap air (% *Impervious*) : Persentase area tanah yang *impervious*.
5. Manning kedap air (*N-Imprev*) : Nilai *n manning* untuk aliran permukaan di daerah *impervious*.
6. Manning tidak kedap air (*N-Perv*) : Nilai *n manning* untuk alir permukaan di daerah *pervious*.
7. Kedap air absolut (% *Zero-Imperv*) : Persentase dari *impervious* area tanpa *depression storage*.
8. *Infiltration Model* : Pilihan untuk metode perhitungan infiltrasi dan parameternya.
9. *Rain Gage* : Berkaitan dengan *subcatchment*.
10. *Outlate* : Menerima *runoff subcatchment*.

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

$$D_1 = D_t + R_t \quad (2.50)$$

Keterangan:

D_1 = Kedalaman air setelah terjadi hujan (mm)

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

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

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

$$F_p = F_c + (F_o - F_c)e^{-kt} \quad (2.51)$$

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*:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.52)$$

$$Q = A \cdot v \quad (2.53)$$

Keterangan:

v = Kecepatan (m/s)

n = Koefisien *manning*

R = Jari-jari hidrolis (m)

S = Kemiringan lahan

Q = Debit (m^3/det)

A = Luas penampang basah

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk memperhitungkan harga infiltrasi dalam simulasi menggunakan metode *SCS Curve Number*. Metode ini mengasumsikan bahwa *infiltrasi* tanah yang terjadi didapatkan melalui pemilihan jenis tata guna lahan. Tabel 2.18, Tabel 2.19, dan Tabel 2.20 disajikan sebagai berikut:

Tabel 2. 18 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	$\geq 0,45$
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	0,05 – 0,00

Kel	Pengertian	Infiltrasi Min
	<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	

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

Tabel 2. 19 *Curve Number* Tutupan Lahan

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

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

Laju infiltrasi mempunyai klarifikasi tertentu dalam penentuan besarnya laju *infiltrasi*. Penentuan kelas *infiltrasi* dapat dilihat pada tabel 2.20

Tabel 2. 20 Klarifikasi Besarnya Laju Infiltrasi

Kelas	Klasifikasi	Laju Infiltrasi (mm/jam)
0	Sangat Lambat	< 1
1	Lambat	1 – 5
2	Agak Lambat	5 – 20

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

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

c. *Junction/Node*

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

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

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*

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

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

2.3 Sistem Informasi Geografis (SIG)

2.3.1 Definisi Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) secara umum adalah sistem komputer yang digunakan untuk memasukkan (capturing), menyimpan, memeriksa, mengintegrasikan, memanipulasi, menganalisa, dan menampilkan, data-data yang berhubungan dengan posisi-posisi di permukaan bumi. Sistem ini mengombinasikan perangkat keras dan perangkat lunak komputer yang memungkinkan untuk mengelola informasi spasial berikut data atributnya (data deskriptif) dengan akurasi kartografi. (Prahasta, 2001)

2.3.2 Model Data Sistem Informasi Geografis (SIG)

Pembawa informasi di dalam model-model data adalah objek. Obyek ini berhubungan dengan entities di dalam model-model dunia nyata, karena itu dianggap sebagai deskripsi fenomena dunia nyata (Prahasta, 2001). Suatu objek memiliki properties, yaitu (Prahasta, 2001) :

1. Tipe
2. Atribut
3. Relasi
4. Geometri
5. Kualitas

Secara umum, terdapat dua jenis data yang dapat digunakan untuk mempresentasikan atau memodelkan fenomena-fenomena yang terdapat di dunia nyata, yaitu :

1. Data spasial

Jenis data yang mempresentasikan aspek-aspek keruangan dari fenomena yang bersangkutan. Jenis data ini sering disebut data posisi, koordinat, ruang, atau data spasial. Data spasial dari segi penyimpanan data dibagi menjadi dua yaitu data vektor dan data raster. Kedua sistem tersebut merupakan fungsi posisi yang menunjukkan salah satu karakteristik dari data geografi. Setiap sistem mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

2. Data atribut

Jenis data yang mempresentasikan aspek-aspek deskriptif dari fenomena yang bersangkutan hingga dimensi waktunya. Jenis data ini sering disebut data atribut atau non-spasial. Data atribut merupakan keterangan dari data geografi baik disimpan secara vektor (vector encoding) maupun raster (raster encoding). Deskripsi data-data atribut tersebut berupa keterangan-keterangan pada bagianbagian fenomena geografi dengan cara pemberian kode (Prahasta, 2001).

Data atribut pada pekerjaan Sistem Informasi Geografis merupakan suatu database. Database merupakan data yang disusun atau diatur sedemikian rupa sehingga mempermudah kita dalam memperoleh suatu informasi. Database terdiri dari record, field, dan data item. Dimana setiap field harus terdiri dari beberapa record yang masing-masing berisi data item. Sebelum dilakukan pemasukan data atribut, terlebih dahulu harus dilakukan pemilihan dan pengelompokan data berdasarkan kesamaan (kesetaraan) supaya dapat dijadikan suatu format data. Setelah data-data tersebut dikelompokkan berdasarkan kesamaan, maka data tersebut dimasukkan sebagai data item dan dikelompokkan lagi berdasarkan field-fieldnya, sehingga terbentuk beberapa record data. Record-record data inilah yang akan diolah menjadi Sistem Informasi Geografis.

Data spasial dan data atribut memiliki dua bentuk penyimpanan yaitu penyimpanan berupa data vektor dan data raster, berikut penjelasan dari bentuk penyimpanan tersebut:

1. Data Vektor

Pada sistem vektor, fenomena geografi disajikan tiga konsep topologi, yaitu titik (*point*), garis (*line*), dan poligon (*polygon*). Fenomena geografi tersebut disimpan dalam bentuk pasangan koordinat (x,y) sehingga letak, titik, garis, dan area dihubungkan dengan data atribut menggunakan pengenal (*identity/user_id*) terlebih dahulu. Resolusi dari data vektor tergantung dari jumlah titik yang membentuk garis.

2. Data raster

Pada sistem raster, fenomena geografi disimpan dalam bentuk rangkaian persegi atau piksel (*grid/raster*) yang sesuai dengan kenampakan. Setiap piksel mempunyai referensi pada kolom baris yang berisi satu nilai yang mewakili satu fenomena geografi. Pada sistem ini titik dinyatakan dalam bentuk grid atau sel tunggal, garis dinyatakan dengan beberapa sel yang mempunyai arah, dan poligon dinyatakan dalam beberapa sel. Resolusi dari data raster ditentukan oleh ukuran grid sell. Model raster memberikan informasi spasial apa yang terjadi dimana saja dalam bentuk gambaran yang digeneralisir. Dengan model ini, dunia nyata disajikan sebagai elemen matriks atau sel-sel grid yang homogen. Dengan model data raster, data geografi ditandai oleh nilai-nilai (bilangan) elemen matriks persegi panjang dari suatu objek. Dengan demikian, secara konseptual, model data raster merupakan model data spasial yang paling sederhana.

2.3.3 Peta Jaringan Drainase Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)

Penelitian ini menggunakan aplikasi *ArcGIS* 10.8 untuk mengoperasikan Sistem Informasi Geografis (SIG). Proses pembuatan peta jaringan drainase dilakukan dengan menggabungkan data-data yang didapat dari penelitian di lapangan, kemudian di analisis untuk mendapatkan hasil evaluasi kinerja pada saluran drainase tersebut.

2.4 Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

2.4.1 Definisi *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Analytical Hierarchy Process merupakan suatu metode pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty. Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah multi faktor atau multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hierarki. Menurut Saaty (1993), hierarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multilevel dimana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya hingga level terakhir dari alternatif.

Analytical Hierarchy Process digunakan sebagai metode pemecahan masalah dibanding dengan metode yang lain karena alasan-alasan berikut:

1. Struktur yang berhierarki, sebagai konsekuensi dari kriteria yang dipilih, sampai pada sub kriteria yang paling dalam.
2. Memperhitungkan validitas sampai dengan batas toleransi inkonsistensi sebagai kriteria dan alternatif yang dipilih oleh pengambil keputusan.

Memperhitungkan daya tahan output analisis sensitivitas pengambilan keputusan.

2.4.2 Kelebihan dan Kekurangan *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Layaknya sebuah metode analisis, AHP pun memiliki kelebihan dan kelemahan dalam sistem analisisnya (Syafi'i, 2017). Kelebihan-kelebihan analisis ini adalah:

1. Kesatuan (Unity), AHP membuat permasalahan yang luas dan tidak terstruktur menjadi suatu model yang fleksibel dan mudah dipahami.

2. Kompleksitas (Complexity), AHP memecahkan permasalahan yang kompleks melalui pendekatan sistem dan pengintegrasian secara deduktif.
3. Saling ketergantungan (Interdependence), AHP dapat digunakan pada elemen-elemen sistem yang saling bebas dan tidak memerlukan hubungan linier.
4. Struktur Hirarki (Hierarchy Structuring), AHP mewakili pemikiran alamiah yang cenderung mengelompokkan elemen sistem ke level-level yang berbeda dari masing-masing level berisi elemen serupa.
5. Pengukuran (Measurement), AHP menyediakan skala pengukuran dan metode untuk mendapatkan prioritas.
6. Sintesis (Synthesis), AHP mengarah pada perkiraan keseluruhan mengenai seberapa diinginkannya masing-masing alternatif.
7. Trade Off, AHP mempertimbangkan prioritas relatif faktor-faktor pada sistem sehingga orang mampu memilih alternatif terbaik berdasarkan tujuan mereka.
8. Penilaian dan Konsensus (Judgement and Consensus), AHP tidak mengharuskan adanya suatu consensus, tapi menggabungkan hasil penilaian yang berbeda.
9. Pengulangan Proses (Process Repetition), AHP mampu membuat orang menyaring definisi dari suatu permasalahan dan mengembangkan penilaian serta pengertian mereka melalui proses pengulangan.

Sedangkan kelemahan metode AHP adalah sebagai berikut:

1. Ketergantungan model AHP pada input utamanya. Input utama ini berupa persepsi seorang ahli sehingga dalam hal ini melibatkan subyektifitas sang

ahli. Selain itu, model menjadi tidak berarti jika ahli tersebut memberikan penilaian yang keliru.

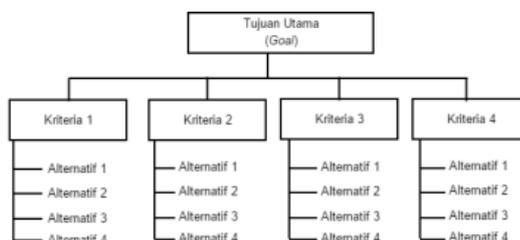
2. Metode AHP ini hanya metode matematis tanpa ada pengujian secara statistik sehingga tidak ada batas kepercayaan dari kebenaran model yang terbentuk.

2.4.3 Tahapan Metode AHP

Menurut Kadarsyah dan Ali (1998), langkahlangkah yang dilakukan dalam metode AHP sebagai berikut:

1. Mendefinisikan masalah dan menentukan solusi yang diinginkan.
2. Membuat struktur hierarki yang diawali dengan tujuan utama.

Secara umum, struktur hierarki dapat dilihat pada gambar 2.15



Gambar 2. 15 Struktur Hierarki AHP

3. Membuat matrik perbandingan berpasangan yang menggambarkan kontribusi relatif atau pengaruh setiap elemen terhadap tujuan atau kriteria yang setingkat di atasnya.

Tabel 2. 21 Matriks Perbandingan Berpasangan

	Kriteria 1	Kriteria 2	Kriteria 3	Kriteria n
Kriteria 1	K11	K12	K13	K1n
Kriteria 2	K21	K22	K23	K2n
Kriteria 3	K31	K32	K33	K3n
Kriteria n	Kn1	Kn2	Kn3	Knn

4. Mendefinisikan perbandingan berpasangan sehingga diperoleh jumlah penilai seluruhnya sebanyak $n \times [(n-1)/2]$ buah, dengan n adalah banyaknya elemen yang dibandingkan.

Tabel 2. 22 Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan

Intesitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua elemen sama penting
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting dari elemen lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting dari elemen lainnya
7	Elemen yang satu sangat penting dari elemen lainnya
9	Elemen yang satu mutlak sangat penting dari elemen lainnya
2,4,6,8	Nilai-nilai antaradua nilai pertimbangan yang berdekatan

5. Menghitung nilai eigen dan menguji konsistensinya. Jika tidak konsisten maka pengambilan data diulangi
6. Mengulangi langkah 3,4, dan 5 untuk seluruh tingkat hierarki.
7. Menghitung vektor eigen dari setiap matriks perbandingan berpasangan yang merupakan bobot setiap elemen untuk penentuan prioritas elemen-elemen pada tingkat hierarki terendah sampai mencapai tujuan. Penghitungan dilakukan lewat cara menjumlahkan nilai setiap kolom yang bersangkutan untuk memperoleh normalisasi matriks, dan menjumlahkan nilai-nilai dari setiap baris dan membaginya dengan jumlah elemen untuk mendapatkan rata-rata.

Apabila A adalah matriks perbandingan berpasangan, maka vektor bobot yang berbentuk:

$$(A)(w^T) = (n)(w^T)$$

dapat didekati dengan cara:

- a. Menormalkan setiap kolom j dalam matriks A, sedemikian hingga:

$$\sum_i a(i, j) = 1$$

sebut sebagai A'.

- b. Hitung nilai rata-rata untuk setiap baris i dalam A':

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_j a(i, j) \quad (2.54)$$

dengan w_i adalah bobot tujuan ke-i dari vektor bobot.

8. Memeriksa konsistensi hirarki. Misal A adalah matriks perbandingan berpasangan dan w adalah vektor bobot, maka konsistensi dari vektor bobot w dapat diuji sebagai berikut:

- a. Hitung: $(A)(w^T)$

$$t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{elemen ke-i pada } (A)(w^T)}{\text{elemen ke-i pada } w^T} \right) \quad (2.55)$$

- b. Hitung indeks konsistensi:

$$CI = \frac{t-n}{n-1} \quad (2.56)$$

- c. Indeks random RI_n adalah nilai rata-rata CI yang dipilih secara acak.

- d. Hitung rasio konsistensi

$$CR = \frac{CI}{RI_n} \quad (2.57)$$

- Jika $CI = 0$, maka hierarki konsisten

- Jika $CR < 0,1$, maka hierarki cukup konsisten
- Jika $CR > 0,1$, maka hierarki sangat tidak konsisten