

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Drainase

Drainase merupakan suatu bangunan prasarana yang berperan dalam pengendalian aliran permukaan air. Drainase atau *drainage* mempunyai arti mengalirkan, membuang serta mengalihkan air. Dalam lingkup teknik sipil, drainase sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi dalam mengurangi dan membuang massa air dari suatu wilayah, sehingga terhindar dari genangan. Selain itu drainase dapat diartikan sebagai upaya pengendalian dalam kualitas air tanah. Sehingga drainase tidak hanya melibatkan air permukaan saja, tetapi juga air tanah sesuai dengan prinsip sebagai alur jalannya pembuangan hingga pada saat hujan, aliran air pada permukaan diupayakan segera dibuang supaya tidak menjadi genangan yang dapat menghambat aktivitas dan bahkan menimbulkan kerugian.

Drainase adalah serangkaian bangunan air yang berfungsi mengurangi dan membuang kelebihan air pada suatu lahan, sehingga lahan dapat digunakan secara optimal. Drainase juga diartikan sebagai usaha dalam mengatur kualitas air tanah (Dr. Ir. Suripin, 2004). Fungsi sistem drainase menurut Hardjosuprpto (1998), untuk :

1. Meringankan wilayah genangan air;
2. Mengatur akumulasi limpasan air hujan yang berlebihan dan memanfaatkannya untuk imbuhan air tanah;
3. Mengendalikan kerusakan jalan, kerusakan infrastruktur, erosi; dan
4. Menjaga kualitas air.

Drainase perkotaan dapat artikan sebagai ilmu yang mengkhususkan pengkajian pada kawasan perkotaan yang terkait dengan kondisi lingkungan social-budaya yang ada didalam kawasan kota (Hasmar, 2001). Aspek yang perlu diperhatikan dalam merencanakan sistem drainase perkotaan menurut SNI 03-1733 (2004), yaitu :

- a. Dalam sistem drainase terdiri atas saluran primer, sekunder, dan primer;
- b. Sistem penyaluran drainase perkotaan direncanakan terpisah dengan saluran pembuangan air limbah;
- c. Saluran drainase dapat direncanakan terbuka atau tertutup dengan adanya pertimbangan faktor ketersediaan tanah, pembiayaan, operasi serta pemeliharaan.

2.1.2 Sistem Jaringan Drainase

Sistem jaringan drainase perkotaan dibagi menjadi 2 bagian, yaitu :

a) Sistem Drainase Mayor

Sistem jaringan mayor merupakan sistem saluran yang menampung dan mengalirkan air dari daerah tangkapan air hujan dengan skala yang besar dan luas. Umumnya sistem ini disebut dengan sistem saluran pembuangan utama/primer.

b) Sistem Drainase Mikro

Sistem drainase mikro merupakan sistem saluran pelengkap drainase primer, seperti saluran di sepanjang sisi jalan, gorong-gorong, dan lain sebagainya dimana debit air yang dapat ditampungnya berskala kecil. Dalam lingkungan pemukiman biasanya digunakan sistem drainase mikro.

2.1.3 Jenis-Jenis Drainase

Drainase dibedakan dalam beberapa bagian, diantaranya :

a) Menurut Sejarah Terbentuknya

1. Drainase alamiah (*Natural Drainage*)

Drainase alamiah merupakan sistem saluran yang terbentuk secara sendirinya dan tidak adanya unsur campur tangan manusia.

2. Drainase buatan (*Artificial Drainage*)

Drainase buatan merupakan saluran yang dibentuk atas dasar analisis keilmuan drainase untuk menentukan debit akibat hujan, dan dimensi saluran.

b) Menurut Fungsi Saluran

Fungsi saluran menurut Hasmar (2001) , yaitu :

1. *Single purpose*

Single purpose adalah saluran yang berfungsi hanya mengalirkan satu jenis air buangan.

2. *Multi purpose*

Multi purpose adalah saluran yang berfungsi mengalirkan beberapa jenis buangan yaitu secara bercampur atau bergantian.

c) Menurut Letak saluran

1. Drainase permukaan tanah (*Surface Drainage*)

Drainase permukaan tanah adalah saluran adanya di atas permukaan tanah, berfungsi dalam mengalirkan air limpasan permukaan.

2. Drainase bawah tanah (*Sub Surface Drainage*)

Drainase bawah tanah adalah saluran yang mengalirkan air limpasan permukaan melewati media di bawah permukaan tanah seperti pipa-pipa.

d) Menurut konstruksinya

1. Saluran terbuka

Saluran terbuka merupakan sistem saluran yang direncanakan hanya mengalirkan dan menampung air hujan baik dengan sistem terpisah maupun campur. Saluran terbuka pada daerah perkotaan biasanya diberi lining dengan beton, pasangan batu dan bata.

2. Saluran tertutup

Saluran tertutup merupakan sistem saluran yang biasanya untuk air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan. Sistem ini bagus diterapkan di daerah perkotaan yang penduduknya padat.

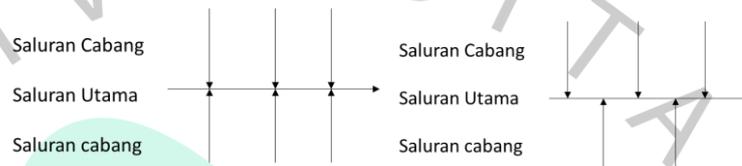
2.1.4 Pola Jaringan Drainase

Pola jaringan drainase digunakan dalam merencanakan sistem drainase di suatu wilayah. Pemilihan pola jaringan drainase yang tepat

untuk suatu wilayah ditentukan dari peta topografi daerah dan tata guna lahan pada kawasan tersebut. Berikut merupakan jenis-jenis pola jaringan drainase, diantaranya :

a. Drainase siku

Jaringan drainase siku biasanya dibuat pada daerah yang peta topografinya lebih tinggi dari sungai. Sungai sebagai pembuangan akhir berada di tengah kota.



Gambar 2. 1 Pola Jaringan Drainase Siku

b. Drainase Paralel

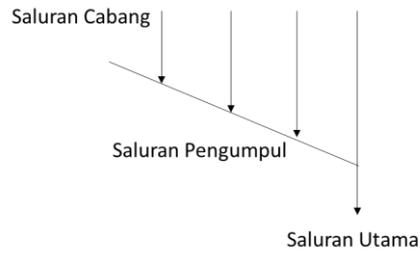
Jaringan drainase paralel, saluran terletak sejajar dengan saluran cabang. Dengan saluran sekunder yang cukup banyak dan pendek-pendek. Apabila terjadi perkembangan kota, saluran-saluran menyesuaikan sendirinya.



Gambar 2. 2 Pola Jaringan Drainase Paralel

c. Drainase Grid Iron

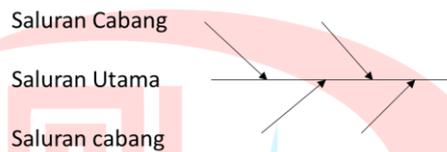
Jaringan drainase grid iron digunakan apabila sungai terletak di pinggir kota, sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dahulu pada saluran pengumpul.



Gambar 2. 3 Pola Jaringan Drainase Grid Iron

d. Drainase alamiah

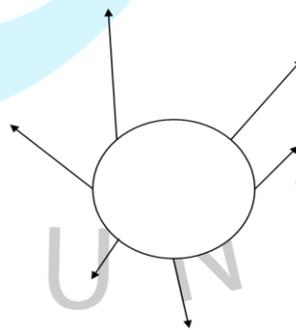
Jaringan drainase alamiah, beban sungai pada lebih besar. Pola jaringan ini digunakan pada daerah yang peta topografinya sedikit lebih tinggi dari sungai dan beban sungai pada pola jaringan alamiah lebih besar. Sungai yang berada di tengah kota dijadikan saluran pembuangan akhir.



Gambar 2. 4 Pola Jaringan Drainase Alamiah

e. Drainase Radial

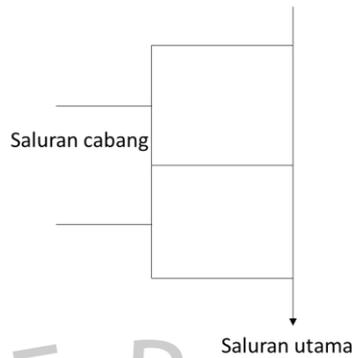
Jaringan drainase radial biasanya digunakan di daerah perbukitan sehingga pola saluran memancar ke segala arah.



Gambar 2. 5 Pola jaringan Drainase radial

f. Drainase Jaring-jaring

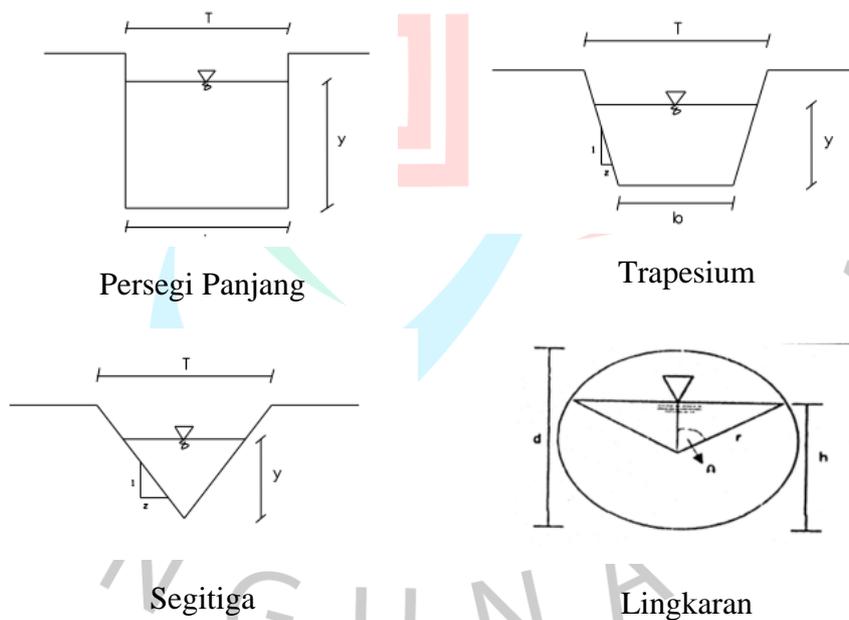
Jaringan drainase jaring-jaring memiliki saluran-saluran pembuang yang mengikuti ke arah jalan raya. Pola ini tepat diterapkan pada daerah dengan peta topografinya datar.



Gambar 2. 6 Pola Jaringan Drainase Jaring-Jaring

2.1.5 Bentuk Penampang Saluran Drainase

Perancangan dimensi saluran diupayakan dapat membentuk dimensi yang ekonomis. Besarnya dimensi saluran berarti kurang ekonomis, dan sebaliknya semakin kecil dimensinya akan membuat masalah sebab daya tampung yang kurang memadai.



Gambar 2. 7 Bentuk Penampang Saluran Drainase

(Peraturan Menteri PUPR No 12/PRT/M/2014)

2.1.6 Curah Hujan Rencana

Curah hujan yang dibutuhkan dalam penyusunan rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah data curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan. Curah hujan

adalah ketinggian air hujan yang terkumpul dalam suatu tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan juga tidak mengalir. Intensitas hujan adalah banyaknya curah hujan dalam persatuan jangka waktu tertentu. Intensitas hujan yang besar berarti hujan dalam kondisi lebat.

Tabel 2. 1 Kriteria Pemilihan Tiga Metode Curah Hujan

Luas DAS	Metode Hujan Rata-rata
DAS besar (>5000km ²)	Metode Isohyet
DAS sedang (500-5000km ²)	Metode Polygon Thiessen
DAS Kecil (<500km ²)	Metode Rata-rata Aljabar

Sumber : Dr. Ir. Suripin, 2004

2.1.6.1 Metode Isohyet

Metode isohyet adalah metode yang menggunakan suatu garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan. Pada metode ini, hujan pada suatu daerah diantara dua garis isohyet adalah merata dan sama dengan nilai rerata dari kedua garis isohyet tersebut.

Rumus :

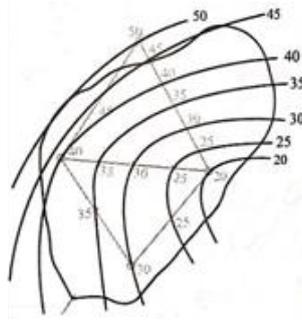
$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1+R_2}{2} \cdot A_1 + \frac{R_2+R_3}{2} \cdot A_2 + \dots + \frac{R_n+R_{n+1}}{2} \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

\bar{R} = Curah hujan rata-rata (mm)

R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan stasiun 1,2,....., n (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas bagian yang dibatasi oleh isohyet-isohyet (km²)



Gambar 2. 8 DAS Metode Isohyet

2.1.6.2 Metode Polygon Thiessen

Metode polygon theissen ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun hujan yang mewakili luasan di daerah sekitarnya. Metode ini biasanya digunakan jika stasiun hujan di daerah yang diamati tidak merata, sehingga curah hujan rerata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari setiap stasiun.

Rumus :

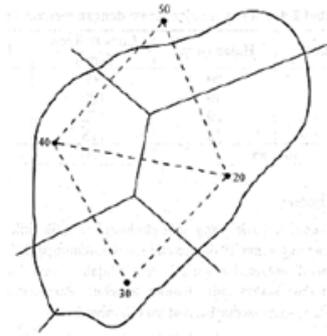
$$\bar{p} = \frac{A_1 \cdot P_1 + A_2 \cdot P_2 + \dots + A_n \cdot P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

\bar{p} = Curah hujan maksimum rata-rata (mm)

p_1, p_2, \dots, p_n = Curah hujan di stasiun 1, 2, ..., n (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n (km^2)



Gambar 2. 9 DAS Polygon Theissen

2.1.6.3 Metode Rata-rata Aljabar

Metode rata-rata aljabar dilakukan dengan menjumlahkan pada beberapa stasiun hujan dalam waktu yang bersamaan dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun yang digunakan. Stasiun hujan yang digunakan dalam perhitungan yang berada di dalam DAS, tetapi juga stasiun di luar DAS yang berdekatan dapat diperhitungkan. Metode rata-rata aljabar dapat memberikan hasil baik apabila stasiun hujan tersebar secara merata di DAS dan distribusi hujan relative merata pada keluruh DAS (Triatmodjo, 2008).

Rumus :

$$R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

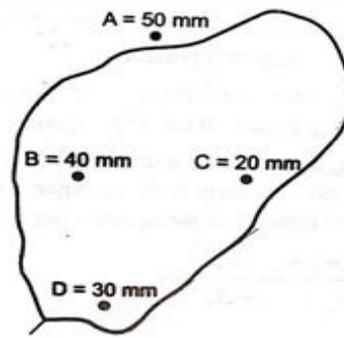
R = Curah hujan maksimum rata-rata (mm)

R_1 = Curah hujan di stasiun pengamatan satu (mm)

R_2 = Curah hujan di stasiun pengamatan dua (mm)

R_n = Curah hujan di stasiun pengamatan n (mm)

n = Jumlah stasiun pengamatan



Gambar 2. 10 DAS Metode Rata-rata Aljabar

2.1.7 Analisis Frekuensi Hidrologi

Analisis frekuensi adalah metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai probabilitas terjadinya curah hujan atau debit banjir yang berfungsi untuk dasar perencanaan hidrologi dalam mengantisipasi kejadian ekstrim seperti banjir. Tujuan dilakukannya analisis frekuensi adalah untuk mencari hubungan antara kejadian ekstrim dengan frekuensi kejadian menggunakan distribusi probabilitas. (Triatmodjo, 2008). Berikut merupakan tahapan dalam perhitungan analisis frekuensi, yaitu :

2.1.8.1 Perhitungan Parameter statistik

a. Nilai Rata-rata

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

\bar{X} = Nilai rata-rata curah hujan (cm)

$\sum Xi$ = Jumlah data curah hujan ke-1 (cm)

n = Banyaknya data hujan

b. Standar Deviasi

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(Xi-\bar{X})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

Sd = Nilai rata-rata curah hujan (cm)

\bar{X} = Jumlah data curah hujan ke-1 (cm)

n = Banyaknya data hujan

c. Koefisien Variasi

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.6)$$

d. Koefisien Skewness/ kemiringan

$$Cs = \frac{n}{(n-1)(n-2)Sd^3} \cdot \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^3 \dots\dots\dots (2.7)$$

e. Koefisien Kurtosis

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^4}{Sd^4} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.1.8.2 Penentuan Jenis Sebaran

Jenis sebaran ditentukan dari hasil perbandingan perhitungan dengan parameter.

Tabel 2. 2 *Parameter Statistik Penentuan Jenis Sebaran*

Distribusi	Persyaratan
Normal	Cs ≈ 1 Ck ≈ 3
Log Normal	Cs = Cv ³ + 3 Cv Ck = Cv ⁸ + 6Cv ⁶ + 15Cv ⁴ + 16Cv ² + 3
Gumbel	Cs = 1,14 Ck = 5,4
Log Person III	Cs ≠ 0

Sumber : Triatmodjo, 2008

2.1.8.3 Pengujian Sebaran

Pengujian sebaran didapatkan dengan mencari analisa curah hujan harian maksimum yang didapat dengan menggunakan beberapa metode sebagai berikut :

a. Metode Distribusi Normal

Perhitungan periode ulang hujan dengan metode distribusi normal dipengaruhi oleh nilai variable reduksi Gauss yang terdapat dalam tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Nilai Variabel Reduksi Gauss

Periode ulang T (tahun)	Peluang	K
1,001	0,999	-3,05
1,005	0,995	-2,58
1,010	0,990	-2,33
1,050	0,950	-1,64
1,110	0,900	-1,28
1,250	0,800	-0,84
1,330	0,750	-0,67
1,430	0,700	-0,52
1,670	0,600	-0,25
2,000	0,500	0
2,500	0,400	0,25
3,330	0,300	0,52
4,000	0,250	0,67
5,000	0,200	0,84
10,000	0,100	1,28
20,000	0,050	1,64
50,000	0,020	2,05
100,000	0,010	2,33
200,000	0,005	2,58
500,000	0,002	2,88
1000,000	0,001	3,09

Sumber : Soewarno, 1995

Berikut merupakan rumus mencari hujan periode ulang dengan metode distribusi normal.

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot Sd \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

X_T = Curah hujan periode ulang (mm/hari)

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

K_T = Faktor frekuensi (nilai variable reduksi *gauss*)

Sd = Standar deviasi (simpang baku)

b. Metode Distribusi Log Normal

Metode distribusi log normal menggunakan nilai logaritma dari sitribusi normal.

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot Sd \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

X_T = Curah hujan dengan periode ulang T tahun

\bar{X} = Nilai curah hujan rata-rata (mm)

K_T = *Standard Variable* untuk periode ulang t tahun yang besarnya diberikan pada tabel 2.4

Sd = Standar deviasi (simpang baku)

Tabel 2. 4 Nilai *Standard Variable* periode t tahun

T (Tahun)	Kt
1	-1.86
10	1.26
20	1.89
50	2.75
100	3.45

Sumber : Soewarno, 1995

c. Metode Distribusi Gumbel

Hujan rencana dengan periode ulang tertentu dapat ditentukan dengan metode gumbel. Persamaan yang digunakan adalah (Soemarto, 1999) :

$$X_t = \bar{X} + \frac{S_d}{S_n} (Y_T - Y_n) \dots\dots\dots (2.11)$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Rumus untuk hubungan antara periode ulang T dengan Y_t dihitung sebagai berikut :

Untuk $T \geq 20$, Maka $Y = \ln T$

$$Y_T = -\ln \left[-\ln \frac{T-1}{T} \right] \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

X_T = Hujan rencana dengan data ukur T tahun

\bar{X} = Nilai curah hujan rata-rata (mm)

Y_T = Nilai reduksi varian dari variable yang diharapkan terjadi pada periode ulang T tahun, dilihat pada tabel 2.5

Y_n = Nilai rata-rata dari reduksi variat, nilai tergantung jumlah data (n), dilihat pada tabel 2.6

S = Standar deviasi dari reduksi variat nilainya tergantung dari jumlah data (n), dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2. 5 Nilai Reduksi Variat (YT)

No	Periode Ulang, T (tahun)	Reduce Variate (YT)
1.	2	0,3668
2.	5	1,5004
3.	10	2,251
4.	20	2,9709
5.	25	3,1993
6.	50	3,9028
7.	75	4,3117
8.	100	4,6012
9.	200	5,2969
10.	250	5,5206
11.	500	6,2149
12.	1000	6,9087
13.	5000	8,5188
14.	10000	9,2121

Sumber : Dr. Ir. Suripin, 2004

Tabel 2. 6 Nilai Reduksi rata-rata (Yn)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585

90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

Sumber : Dr. Ir. Suripin, 2004

Tabel 2. 7 Nilai Standar Deviasi (Sn)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

Sumber : Dr. Ir. Suripin, 2004

d. Metode Distribusi Log person III

Terdapat beberapa karakteristik statistik yang dibutuhkan oleh distribusi Log Pearson type III adalah:

1. Harga rata-rata (Mean)
2. Simpangan baku (Standar Deviasi)
3. Koefisien Kemencengan.

Langkah-langkah perhitungan curah hujan rencana menurut Soewarno (1995) adalah sebagai berikut:

1. Data curah hujan harian maksimum tahunan sebanyak n tahun dalam bentuk logaritma.
2. Hitung harga rata-ratanya sebagai berikut:

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log} X_i}{n} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

- $\text{Log } \bar{X}$ = Curah hujan
- n = Jumlah data
- X_i = Curah hujan rata-rata

3. Hitung harga simpangan baku (standar deviasi) :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log} X_i - \overline{\log X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.14)$$

4. Hitung koefisien Kemencengan :

$$Cs = \frac{n \sum (\log X_i - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots (2.15)$$

5. Hitung logaritma curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu.

$$X_t = \bar{X} + k \cdot S \dots\dots\dots (2.16)$$

6. Menghitung koefisien kurtosis :

$$Ck = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \times \sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \log \bar{X}\}^4 \dots (2.17)$$

7. Menghitung koefisien variasi

$$Cv = \frac{s}{\log \bar{X}} \dots\dots\dots (2.18)$$

8. Menghitung nilai ekstrim :

$$\text{Log } X = \log \bar{X} + G \cdot S \dots\dots\dots (2.19)$$

9. Mencari antilog dari log X untuk mendapatkan hujan (debit banjir) rancangan yang sesuai .

2.1.8.4 Uji Kecocokan Distribusi

Uji kecocokan distribusi bertujuan untuk mengetahui bagaimana distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi jenis peluang yang diperkirakan dapat mewakili distribusi frekuensi tersebut, maka dibutuhkan untuk pengujian parameter. Pengujian tersebut terdiri atas :

a. Uji Smirnov- Kolmogorov

Prosedur uji kecocokan *Smirnov- Kolmogorov*, sebagai berikut :

1. Mengurutkan data mulai yang terbesar ke terkecil atau sebaliknya, kemudian tentukan besaran dari nilai masing-masing data tersebut :

$$X_1 \rightarrow P(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P(X_2)$$

$$X_m \rightarrow P(X_m)$$

$$X_n \rightarrow P(X_n)$$

2. Menentukan nilai dari masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusi) :

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

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

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

$$X_n \rightarrow P'(X_n)$$

3. Kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamat dengan teoritis.
4. Berdasarkan tabel nilai kritis (Smirnov-Kolmogorof) menentukan harga Dkritis. Nilai Dkritis untuk Uji Smirnov-Kolmogorof terdapat pada Tabel 2.8.
- Apabila $D_{max} < D_{kritis}$, maka distribusi teoritis dapat diterima
 - Apabila $D_{max} > D_{kritis}$, maka distribusi tidak dapat diterima.

Tabel 2. 8 Nilai D_{Kritis} untuk Uji Smirnov-Kolmogorof

N	Derajat Kepercayaan			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
20	0,23	0,26	0,19	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N > 50	$\frac{1,077}{N^{0,5}}$	$\frac{1,22}{N^{0,5}}$	$\frac{1,36}{N^{0,5}}$	$\frac{1,63}{N^{0,5}}$

Sumber : Dr. Ir. Suripin, 2004

b. Uji Chi-Kuadrat (Chi Square)

Uji Chi-kuadrat digunakan dalam menentukan bagaimana persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi sampel data yang dianalisis. Dalam mengambil keputusan uji ini menggunakan parameter X^2 , parameter tersebut dihitung dengan rumus :

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

X_h^2 = Parameter Chi-Kuadrat terhitung

G = Jumlah sub-kelompok

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke- i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke- i

Parameter X_h^2 adalah variabel acak. Peluang hingga mencapai nilai X_h^2 sama atau lebih besar dari pada nilai chi-kuadrat yang sebenarnya (X^2). Berikut tahapan yang dilakukan dalam uji parameter chi-kuadrat, yaitu :

1. Melakukan pengurutan data pengamatan
2. Mengelompokkan data menjadi G sub grup yang masing-masing beranggotakan minimal 4 data pengamatan
3. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar O_i pada tiap sub grup
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i
5. Pada setiap sub grup dihitung nilai :

$$(O_i - E_i) \text{ dan } \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

6. Jumlah keseluruhan G sub grup $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk nilai chi-kuadrat terhitung.

7. Tentukan derajat kebebasan $dk = G-R-1$ (nilai $R= 2$ untuk distribusi normal dan binomial, serta nilai $R=1$, untuk distribusi poisson).

Distribusi frekuensi diterima apabila nilai $X_h^2 < X^2$. Nilai X^2 didapat dari penentuan taraf signifikasi α dengan derajat kebebasan. Nilai derajat kebebasan dapat dilihat dari Tabel 2.9 berikut ini.

Tabel 2. 9 Nilai Kritis untuk Uji Chi-Kuadrat

dk	Derajat Kebebasan				
	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01
1	0,00098	0,0039	3,841	5,024	6,635
2	0,0506	0,103	5,991	7,278	9,21
3	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345
4	0,484	0,711	9,488	11,148	12,277
5	0,831	1,145	11,07	12,832	15,086
6	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812
7	1,69	2,167	14,067	16,013	18,475
8	2,18	2,733	15,507	17,535	20,09
9	2,7	3,325	16,919	19,023	21,666
10	3,247	3,94	18,307	20,483	23,209

Sumber : Dr. Ir. Suripin, 2004

2.1.8 Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah banyaknya jumlah hujan yang turun yang dinyatakan dalam tinggi curah hujan atau volume hujan tiap satuan waktu. Besarnya intensitas hujan tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Semakin singkatnya hujan berlangsung maka intensitas cenderung makin tinggi.

1. Rumus Mononobe

Digunakan rumus mononobe apabila hanya tersedia data hujan harian.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

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

t = lamanya hujan (jam)

2. Rumus Talbot (1881)

Rumus Talbot (1881) rumus ini banyak digunakan karena mudah penerapannya dan tetapan-tetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang terukur.

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

$$a = \frac{\sum(I.t).\sum(I^2) - \sum(I^2.t).\sum(I)}{N.\sum(I^2) - \sum(I).\sum(I)} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$b = \frac{\sum(I).\sum(I.t) - N.\sum(I^2.t)}{N.\sum(I^2) - \sum(I).\sum(I)} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

T = Lamanya hujan

a dan b = konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi di DAS.

2.1.9 Heterograf Hujan Rencana

Dari kurva IDF didapatkan heterograf pada setiap durasi waktu Δt , dengan kedalaman hujan yang didapat dari perkalian antara intensitas hujan dan durasi waktunya. Adanya perbedaan antara nilai kedalaman hujan yang berurutan adalah penambahan hujan dalam interval waktu Δt . Penambahan waktu tersebut diurutkan didalam rangkaian waktu dengan intensitas hujan maksimum yang berada di antara durasi hujan T_c . Waktu Konsentrasi (t_c) adalah waktu yang dibutuhkan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh hingga ketempat keluaran saluran. Perhitungan waktu konsentrasi dibagi dua, yaitu :

1. Waktu yang diperlukan air untuk mengalir diperumahaan lahan sampai saluran terdekat (t_0)

$$t_0 = \frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{S^{0,5}} \dots\dots\dots(2.25)$$

2. Waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai pada titik keluaran (t_d),

$$t_d = \frac{L_s}{(60 \times V)} \dots\dots\dots(2.26)$$

Sehingga, didapatkan nilai t_c dengan persamaan sebagai berikut.

$$t_c = t_0 + t_d \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana :

- n = nilai kekasaran manning, $n = 0,015$ (untuk beton)
- S = Kemiringan lahan, $S = 0,009$
- L = Panjang lintasan aliran diatas permukaan lahan (m),
 $L = 1730$ m
- L_s = Panjang lintasan aliran drainase (m)
- V = Kecepatan aliran didalam saluran (m/s)

2.1.10 Debit Banjir Rencana

Debit banjir atau besarnya aliran adalah volume aliran yang melewati suatu penampang melintang persatuan waktu. Satuan yang digunakan dalam debit banjir rencana adalah $m^3/detik$. Nilai debit banjir dapat digunakan dalam perencanaan bangunan air, memperkirakan bencana banjir, pemanfaatan PLTA, dan lain sebagainya.

1. Metode Rasional

Metode rasional digunakan untuk menentukan banjir maksimum bagi saluran dengan daerah aliran kecil yaitu 40-80 km^2 . Metode rasional ini dinyatakan secara aljabar dengan persamaan sebagai berikut (Subarkah, 1978) :

$$Q_t = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana :

- Qt = Debit banjir rencana ($m^3/detik$)
- C = Koefisien run off (koefisien limpasan)
- I = Intensitas maksimum selama waktu konsentrasi (mm/jam)
- A = Luas daerah aliran (km^2)

Konstanta 0,278 merupakan faktor konversi debit puncak ke satuan dalam $m^3/detik$ (Seyhan, 1990). Berikut merupakan tabel koefisien manning (n).

Tabel 2. 10 Nilai Koefisien Manning (n)

Tipe Saluran	Koefisien Manning (n)
Baja	0,011-0,014
Baja Permukaan Gelombang	0,021-0,030
Semen	0,010-0,013
Beton	0,011-0,015
Pasangan Batu	0,017-0,030
Kayu	0,010-0,014
Bata	0,011-0,015
Aspal	0,013

Sumber : Wesli, 2008

2. Metode Melchior

Metode Melchior digunakan untuk menghitung debit banjir rancangan untuk Daerah Aliran Sungai (DAS) yang luasnya lebih dari 100 (km^2) dan durasi hujannya kurang dari 24 jam. Rumus perhitungan untuk metode Melchior sebagai berikut :

$$Qt = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \dots \dots \dots (2.29)$$

Dimana :

Qt = Debit banjir rencana ($m^3/detik$)

A = Luas DAS (km^2)

q_n = Hujan maksimum ($m^3/detik$)

α = Koefisien pengaliliran = 0,52

3. Metode Weduwen

Metode weduwen digunakan untuk menghitung debit banjir rancangan untuk luas daerah pengaliran $< 100 km^2$ dan waktu konsentrasi 1/6 sampai 12 jam. Rumus perhitungan untuk metode weduwen sebagai berikut :

$$Q_t = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana :

Q_t = Debit banjir rencana ($m^3/detik$)

A = Luas DAS (km^2)

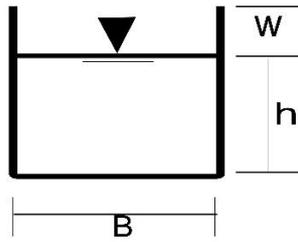
t = Waktu Konsentrasi (jam)

R_t = Hujan rencana periode ulang

α = Koefisien pengaliliran

2.1.11 Debit Saluran

Debit adalah volume air yang mengalir melewati penampang melintang tertentu persatuan waktu ($m^3/detik$). Debit saluran terdapat pada perhitungan analisis hidrolika. Analisis hidrolika dibutuhkan dalam merencanakan dimensi saluran drainase yang dapat menampung limpasan. Bentuk dari penampang eksisting pada lokasi studi berbentuk persegi dan berdinding beton. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung dimensi saluran pada bentuk saluran persegi panjang acuan berdasarkan Peraturan Menteri PUPR No 12/PRT/M/2014.



Gambar 2. 11 Sketsa Penampang Persegi

- Luas Penampang Saluran (A)

$$A = B \times h \dots\dots\dots(2.31)$$

- Keliling Basah Saluran (P)

$$P = B + 2 \times h \dots\dots\dots(2.32)$$

- Jari-Jari Hirdolis (R)

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots(2.33)$$

- Kecepatan Aliran (V)

$$V = \frac{1}{n} (R)^{2/3} (S)^{1/2} \dots\dots\dots(2.34)$$

- Debit Saluran (Q)

$$Q = A \times V \dots\dots\dots(2.35)$$

Dimana :

A = Luas penampang basah (m^2)

B = Lebar bawah (m)

h = Kedalaman Saluran (m)

S = Kemiringan dasar saluran

2.1.12 Kalibrasi

Kalibrasi merupakan tahapan dari proses optimalisasi nilai parameter untuk meningkatkan koherensi atau ketepatan data termodelkan dengan data observasi. Secara kuantitatif keandalan model dalam memperoleh kejadian alam dinilai secara statistik dengan berbagai parameter. Satu atau beberapa fungsi objektif biasanya digunakan dalam mengukur secara kuantitatif tingkat kesalahan antara data terukur dan termodelkan. Dalam mencari validasi data yaitu dengan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE). Menurut

Indarto (2012), umumnya validasi dilakukan menggunakan data luar rentang data yang digunakan pada tahap kalibrasi. Nilai NSE menunjukkan nilai mendekati 1 maka tingkat keandalan tersebut tinggi dimana memiliki kuantifikasi parameter yang jelas. Berikut merupakan rumus dari validasi data dengan NSE.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana :

P_i = Data Observasi (Data sesungguhnya)

Q_i = Data Perkiraan (Data Hasil estimasi)

Tabel 2. 11 *Kriteria Nash-Sutcliffe efficiency (NSE)*

Nilai NSE	Interpretasi
$NSE > 0,75$	Baik
$0,36 < NSE < 0,75$	Memenuhi
$NSE < 0,36$	Tidak Memenuhi

Sumber : Motovilov.et.al,1999

2.1.13 Kala ulang

Kala ulang merupakan waktu hipotetik dimana probabilitas kejadian debit atau hujan dengan besaran tertentu akan dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut. Dalam perancangan bangunan air, pemilihan kala ulang bergantung pada analisa statistik dari urutan kejadian banjir.

Tabel 2. 12 *Kriteria Pemilihan Kala Ulang Banjir Rancangan*

TIPOLOGI	DAERAH TANGKAPAN AIR (Ha)			
	< 10	10-100	101-500	>500
Kota	2 Th	2-5 Th	5 - 10 Th	10-25 Th
Metropolitam				
Kota Besar	2 Th	2-5 Th	2-5 Th	5- 20 Th
Kota Sedang	2 Th	2-5 Th	2- 5 Th	5-10 Th
Kota Kecil	2 Th	2 Th	2 Th	2-5 Th

Sumber : Peraturan Menteri PUPR No 12/PRT/M/2014

2.1.14 Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan (C) merupakan suatu parameter yang digunakan dalam mengetahui nilai infiltrasi maupun limpasan dari air hujan yang jatuh pada suatu wilayah dengan perbandingan antara volume aliran permukaan dan volume hujan yang jatuh.

Tabel 2. 13 Nilai Koefisien Limpasan (C)

Jenis Daerah	Koefisien Aliran	Kondisi Permukaan	Koefisien Aliran
Daerah Perdagangan		Jalan Aspal	
Kota	0,70-0,95	Aspal dan beton	0,75-0,95
Sekitar kita	0,50-0,70	Batu bata dan batako	0,70-0,85
Daerah Permukiman		Atap Rumah	0,70-0,90
Satu Rumah	0,40-0,50	Halaman berumput,tanah	
Banyak Rumah,terpisah	0,40-0,60	pasir Datar, 2%	0,05-0,10
Banyak rumah, rapat	0,60-0,75	Rata-rata, 2-7%	0,10-0,15
Pemukiman,pinggir kota	0,25-0,40	Curam, 7% atau lebih	0,15-0,20
Apartemen	0,50-0,70		
Daerah Industri		Halaman berumput, tanah pasir padat	
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	0,20-0,35	Curam, 7% atau lebih	0,25-0,35
Halaman, jalan kereta api dan sejenisnya	0,20-0,35		
Lahan tidak terpelihara	0,10-0,30		

Sumber: SNI 2415 : 2016

2.1.15 U-Ditch

U-Ditch adalah jenis beton yang digunakan dalam bidang konstruksi, fungsi utamanya sebagai saluran drainase. Karena

bentuknya saluran air terbuka sehingga *u-ditch* dalam berbagai kebutuhan sering diberikan penutup atau *cover u-ditch*. Keunggulan dari penggunaan *u-ditch* ini diantaranya mutu beton yang sesuai dengan standar SNI 1725 : 2016, memiliki durabilitas yang tinggi yaitu tahan cuaca dan dapat menyalurkan air dalam debit tinggi, dan proses pengerjaan proyek lebih cepat sehingga dapat meminimalisir terganggunya aktivitas pada masyarakat. Dimensi dari *u-ditch* dapat disesuaikan dengan kebutuhan yang ada pada lapangan dan debit air yang harus dialirkan. *U-ditch* dapat dipasang baik dengan penutup ataupun tidak. Jenis tutup *u-ditch* dibagi menjadi 2 diantaranya :

1. *Heavy Duty* : Digunakan pada area yang sering dilewati kendaraan berat
2. *Light Duty* : Digunakan pada sisi jalan, trotoar, atau untuk pejalan kaki.

2.1.16 Model EPA SWMM

Strom Water Management Model (SWMM) adalah model yang dapat menganalisa masalah kuantitas dan kualitas air yang berkaitan dengan limpasan daerah perkotaan. SWMM dikembangkan oleh EPA (Environmental Protection Agency-US). SWMM termasuk model hujan aliran dinamis yang digunakan untuk membuat simulasi dengan rentang waktu menerus atau kejadian banjir sesaat. Permodelan ini banyak dikembangkan dalam simulasi proses hidrologi dan hidrolika di wilayah perkotaan. Model ini digunakan untuk analisa hidrolika yang kompleks dalam masalah saluran pembuangan, manajemen jaringan drainase. Dengan menggunakan SWMM, kondisi yang terjadi di tempat kejadian dapat dimodelkan dengan memasukan parameter-parameter yang tercatat pada kondisi aslinya (Rossman, 2010)

Permodelan jaringan drainase adalah langkah untuk memulai simulasi. Sistem jaringan drainase yang terdapat di lapangan dimasukan kedalam permodelan EPA SWMM 5.0 akan menjadi beberapa bagian *subcatchment* area. Umumnya, dari hasil observasi lapangan diketahui bentuk dan ukuran yang akan dimasukan ke dalam permodelan adalah

Subcatchment area, junction nodes, conduit, dan outfall nodes. Berikut merupakan permodelan SWMM diantaranya :

a. Pembagian subcatchment

Dalam penggunaan SWMM, langkah utama diawali dengan pembagian subcatchment pada area penelitian. Pembagiannya sesuai dengan daerah tangkapan air (DTA) yang telah ditentukan dengan dasar elevasi lahan dan pergerakan limpasaan saat terjadi hujan.

b. Pembuatan Model Jaringan

Pembuatan model jaringan dibuat berdasarkan sistem jaringan drainase yang ada di lapangan. Model jaringan ini terdiri atas *subcatchment, node junction, conduit, outfall node, dan raingauge*. Setelah pembuatan model jaringan, kemudian dimasukan nilai-nilai parameter yang dibutuhkan untuk semua properti tersebut.

c. Simulasi Respon Aliran pada Time Series

Simulasi respon aliran pada time series dilakukan untuk mengetahui respon debit aliran terhadap waktu berdasarkan sebaran curah hujan. Nilai yang dimasukan merupakan nilai sebaran curah hujan terhadap waktu dengan total nilai sesuai dengan curah hujan rancangan hasil dari analisis hidrologi.

d. Simulasi Model

Simulasi model ini dilakukan setelah dibuatnya model jaringan drainase dan semua parameter berhasil dimasukan. Simulasi dikatakan berhasil apabila continuity error $< 10\%$. Dalam simulasi SWMM besarnya debit banjir dihitung dengan cara memodelkan sistem drainase. Aliran permukaan terjadi jika air yang berada di dalam tanah telah mencapai maksimum dan tanah menjadi jenuh. Kemudian limpasan yang terjadi akan mengalir melalui conduit atau saluran yang ada.

e. Output SWMM

Output dari hasil simulasi diantaranya *run off quantity continuity, flow routing continuity, highest flow instability index, routing time step, subcatchment run off*, dan lain sebagainya yang disediakan dalam laporan statistic simulasi rancangan.

f. Visualisasi hasil

Visualisasi hasil yang ditampilkan berbentuk jaringan saluran drainase hasil output dari simulasi, profil aliran dari beberapa saluran utama dan yang diketahui tergenang, dan grafik aliran yang terjadi pada saluran melalui conduit atau saluran yang ada.

2.2 Penelitian Terdahulu

2.2.1 Analisis dan Evaluasi Kapasitas Sistem Drainase di Perumahan Dasana Indah Kabupaten Tangerang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah kapasitas saluran drainase pada Perumahan Dasana Indah Tangerang dapat menampung besaran debit banjir dalam rencana kala ulang 5 tahun. Distribusi curah hujan yang digunakan yaitu Distribusi Gumbel, intensitas curah hujan dengan Metode Mononobe, perhitungan banjir dengan Metode Rasional, dan kecepatan sauran dengan Metode Manning. Dari hasil perhitungan debit banjir (Q_t) rata-rata dari 3 catchment area yaitu sebesar $4,029 \text{ m}^3/\text{s}$. Dan rata-rata kapasitas debit pada saluran drainase (Q_s) pada perumahan tersebut sebesar $2,125 \text{ m}^3/\text{s}$. Dapat disimpulkan bahwa dimensi saluran drainase tidak dapat mengalirkan debit rencana ($Q_s < Q_t$). Pemecahan masalah tersebut dalam mengatasi banjir yaitu merencanakan ulang dimensi salurannya dengan syarat $Q_t < Q_s$.

2.2.2 Analisis dan Evaluasi Saluran Drainase Pada Kawasan Perumahan Desa Kerato Kabupaten Sumbawa

Desa Kerato sering mengalami banjir yang disebabkan oleh alih fungsi lahan yang terjadi dalam waktu singkat membuat kapasitas sistem drainase menurun dan meningkatnya aliran air pada musim hujan. Selain itu kurangnya kesadaran masyarakat sekitar terhadap saluran drainase sehingga terdapat banyak sampah. Sehingga dilakukan penelitian dengan

memperhitungkan saluran drainase, didapatkan debit air dalam saluran $Q_s = 2,499 \text{ m}^3/\text{s}$ dan nilai debit aliran rencana sebesar $Q_r = 1,02 \text{ m}^3/\text{s}$. Dapat disimpulkan bahwa $Q_r < Q_s$, dimana seharusnya saluran drainase di Desa Kerato dapat menampung debit air ketika musim hujan. Tindakan yang perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya banjir di Desa Kerato yaitu dengan menjaga kebersihan sekitar dan membersihkan sedimen pada saluran agar tidak terjadinya pendangkalan pada penampang.

2.2.3 Analisis Sistem Drainase Untuk Penanganan Genangan Di Kecamatan Magetan Bagian Utara

Kecamatan Magetan bagian utara sering mengalami genangan yang menimbulkan ekonomi. Dalam mengatasi permasalahan genangan yang terjadi, diperlukan kajian sistem drainase secara menyeluruh pada saluran yang terpengaruh genangan dimana hasil kajian diharapkan dapat digunakan dalam membuat konsep penanganan masalah genangan yang tepat sesuai dengan kondisi lapangan. Simulasi permodelan dengan *Software SWMM (Strom Water Management Model)* digunakan untuk mengetahui kemampuan drainase eksisting. Konsep perbaikan saluran didapat dengan melakukan simulai ulang kapasitas sistem drainase agar dapat menampung debit rencana. Hasil dari simulasi sistem drainase pada Kecamatan Magetan Utara yaitu kapasitas drainase eksisting cukup baik, tetapi terdapat 5 saluran yang tidak mampu menampung debit hujan sehingga diperlukan penambahan kapasitas saluran dengan cara penambahan lebar, kedalaman dan gabungan dari keduanya. Dampak dari penambahan lebar saluran hanya memperkecil lebar bahu jalan, tidak lebar dari jalan tersebut