

BAB II

www.itk.ac.id

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Drainase

Mengeringkan atau mengalirkan merupakan definisi dari kata drainase sehingga adanya sistem drainase dibuat untuk menangani permasalahan air. Permasalahan air yang dimaksud yakni limpasan air berlebih baik yang berada di permukaan tanah baik lapisan atas maupun bawah. Berdasarkan hal tersebut dapat diartikan bahwa umumnya drainase merupakan ilmu yang mempelajari suatu usaha atau perilaku yang dilakukan untuk mengalirkan debit yang berlebihan pada suatu daerah (Wesli, 2008). Pengertian lain mengenai drainase yakni rentetan bangunan air untuk membuang debit air maksimum sehingga suatu daerah atau lahan dapat berfungsi maksimal. Adapun fungsi sistem drainase yang dimaksud meliputi menohorkan genangan air sehingga tidak terjadi akumulasi air tanah, menganjlokkan volume permukaan air tanah, pengendalian terhadap erosi tanah dan air hujan yang berlebihan (Suripin dalam Kusumajaya dan Yudistian, 2015).

Drainase memiliki peranan penting dalam kelayakan, kenyamanan maupun kebutuhan hidup masyarakat. Peranan penting yang dimaksud adalah jika suatu hunian memiliki sistem drainase yang baik, maka dapat terjaga kesehatan lingkungan sekitar dan terjaganya sumber daya air. Drainase yang berada di kawasan hunian atau perumahan tidak hanya sebagai pengurangan debit limpasan berlebih pada musim hujan tetapi juga digunakan untuk mengatur sirkulasi air bersih dan kotor. Syarifuddin (2017) mengungkapkan, drainase yang berada di kawasan hunian termasuk dalam drainase minor yakni bangunan air mengumpulkan air dari hulu dan mengalirkannya ke drainase utama. Drainase minor didesain dengan ukuran sekitar 4-8 ha. Drainase minor meliputi daerah perumahan, komersial, industri atau semua area yang luasnya kecil dengan karakteristik berada di daerah perkotaan. Sedangkan drainase major biasa disebut sebagai sistem pembuangan utama dimana akan mengalirkan air ke daerah aliran seperti sungai alam, aliran sungai saluran buatan, dan sebagainya. Drainase major

www.itk.ac.id

dalam perencanaan atau perbaikan dimensi penampang harus menyesuaikan daerah perkotaan yang dilayaninya sehingga dapat menampung air dari berbagai saluran.

Pembangunan dan perbaikan sistem drainase tidak melulu mempertimbangkan kapasitas tampung karena fungsi drainase yang menyangkut kelestarian lingkungan sehingga timbul konsep drainase ramah lingkungan. Mengacu pada Permen PU Nomor 12/PRT/M/2014, terdapat ketentuan-ketentuan dalam merencanakan sistem drainase yakni sebagai berikut:

1. Perencanaan sistem drainase harus dilaksanakan secara terpadu agar memberikan daya guna maksimal dengan cara pengelolaan sumber daya air. Daya guna optimal dikatakan ketika kelebihan air tidak langsung dialirkan ke sungai namun dikelola dengan meresapkan air sehingga kapasitas sungai tetap terjaga. Meresapkan air hujan bisa menggunakan konsep eko-drainase, sumur resapan dan sebagainya.
2. Perencanaan sistem drainase harus memperhatikan kelestarian dan kondisi lingkungan, sosial serta ekonomi.

2.2 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi bertujuan agar memperoleh debit banjir suatu daerah, dimana kapasitas tampung saluran yang direncanakan harus melebihi dari debit tersebut sehingga bangunan air berfungsi optimal tidak hanya struktural juga mempertahankan fungsi dari bangunan air tersebut dalam jangka waktu yang ditetapkan (Sri Harto, 1993). Perhitungan hidrologi adalah bagian awal untuk menentukan perencanaan bangunan air dimana perhitungan ini akan berperan penting dalam perhitungan selanjutnya dikarenakan perencanaan dimensi dan tujuan bangunan air akan tergantung pada analisis hidrologi (Kusumajaya dan Yudistian, 2015).

2.2.1 Periode Ulang Curah Hujan

Hujan dapat terjadi dalam waktu dan intensitas tertentu dengan kemungkinan bisa terjadi lagi satu kali dalam waktu yang sama serta memiliki intensitas yang sama pula merupakan definisi periode ulang curah hujan. Sistem drainase perkotaan memiliki minimal tahun dalam penggunaan data curah hujan.

Data curah hujan dapat diperoleh dari stasiun pencatat curah hujan yang terdekat dengan lokasi penelitian tugas akhir. Penelitian tugas akhir ini menggunakan periode ulang 2 tahun untuk saluran tersier, 5 tahun untuk saluran sekunder dan 10 tahun untuk saluran primer (Lubis, 2016).

2.2.2 Perhitungan Hujan Rata-Rata

Perhitungan hujan rata-rata dapat dilakukan dengan metode rata-rata Aljabar, metode Poligon Thiessen dan metode Isohyet (Winata, 2016). Penggunaan metode perhitungan tergantung pada stasiun pengamatan hujan dan data hujan yang digunakan.

2.2.3 Frekuensi Hujan Harian Maksimum

Analisis frekuensi hujan bertujuan untuk mendapatkan curah hujan yang maksimum dari data hujan yang telah didapatkan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode Normal, Log Normal, Gumbel dan *Log Pearson Type III*. Selanjutnya, pemilihan metode distribusi mana yang sesuai dengan data dilakukan dengan cara uji kesesuaian distribusi menggunakan metode Chi-kuadrat dan Smirnov Kolmogrov.

Adapun parameter persyaratan untuk metode Normal, Log Normal, Gumbel dan *Log Pearson Type III* ditunjukkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Pemilihan Jenis Kemungkinan Teoritis (SNI 2415, 2016)

Jenis Distribusi	Parameter Statistik Teoritis
Normal	$C_s = 0$
	$C_k = 3$
Log Normal	$C_s = 3$
	$C_k = 3 \times C_v$
Gumbel	$C_s \leq 1.1396$
	$C_k \leq 5.4002$
Log Pearson Type III	Flexibel

Berdasarkan persyaratan diatas C_s merupakan koefisien kemencengan sedangkan C_k merupakan koefisien ketajaman, sehingga dalam menentukan jenis distribusi mana yang tepat untuk digunakan, dilakukan perhitungan terhadap

parameter-parameter statistik untuk mendapatkan nilai Cs dan Ck adalah menggunakan persamaan sebagai berikut :

a. Nilai rata-rata

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad 2.1$$

Dimana:

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

X = Data sampel (mm)

n = Jumlah pengamatan

b. Deviasi Standar

Deviasi standar merupakan ukuran sebaran yang paling banyak digunakan untuk menghitung sebaran sesuai jumlah data. Sebaran merupakan nilai yang menunjukkan selisih data terbesar dengan terkecil. Deviasi standar dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad 2.2$$

Dimana:

X_i = Data ke-I (mm)

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

n = Jumlah pengamatan

S = Deviasi standar

c. Koefisien variasi (Cv)

Koefisien variasi dihitung dengan cara membandingkan nilai sebaran yang paling banyak digunakan dengan nilai rerata dari data curah hujan. Nilai koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \quad 2.3$$

Dimana:

Cv = Koefisien variasi

S = Deviasi standar

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

d. Koefisien kemencengan (C_s)

Koefisien kemencengan adalah suatu nilai yang menunjukkan ketidakselarasan bentuk suatu distribusi. Perhitungan kemencengan untuk mengukur seberapa besar suatu kurva frekuensi tidak selaras. Nilai koefisien kemencengan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$C_s = \frac{n \cdot \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad 2.4$$

Dimana:

C_s = Koefisien kemencengan

X_i = Data ke-I (mm)

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

S = Deviasi standar

n = Jumlah pengamatan

e. Koefisien Ketajaman (C_k)

Pengukuran koefisien ini bertujuan untuk mengetahui keruncingan atau ketajaman bentuk kurva. Nilai koefisien ketajaman dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$C_k = \frac{n^2 \cdot \sum (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad 2.5$$

Dimana:

C_k = Koefisien ketajaman

X_i = Data ke-I (mm)

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

S = Deviasi standar

n = Jumlah pengamatan

2.2.4 Metode Distribusi Frekuensi Hujan

Metode distribusi statistik yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metode distribusi Normal, Log Normal, Gumbel dan *Log Pearson Type III*.

a. Distribusi Normal

Metode ini cocok untuk menganalisis frekuensi curah hujan, debit rata-rata curah hujan tahunan dan sebagainya. Distribusi normal disebut pula dengan sebaran *Gauss*. Perhitungan distribusi normal dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$X_t = \bar{X} + K_T \cdot S \quad 2.6$$

Dimana:

X_t = Curah hujan rancangan untuk periode ulang pada T tahun (mm)

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

K_T = Nilai faktor frekuensi yang dilihat pada tabel reduksi *Gauss*

S = Deviasi standar

Tabel 2.2 Penentuan Nilai K pada Sebaran Normal (Soewarno, 1995)

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	0.00
2.500	0.400	0.25
3.330	0.300	0.52
4.000	0.250	0.67
5.000	0.200	0.84
10.00	0.100	1.28
20.00	0.050	1.64
50.00	0.200	2.05
100.0	0.010	2.33
200.0	0.005	2.58
500.0	0.002	2.88
1000.0	0.001	3.09

Berdasarkan tabel diatas, nilai K didapatkan dengan cara melihat periode ulang hujan yang digunakan pada tugas akhir. Apabila periode ulang hujan tidak ditemukan dalam tabel, bisa dilakukan dengan cara interpolasi.

b. Distribusi Gumbel

Syarifudin (2017) mengungkapkan, bahwa distribusi gumbel lebih cocok digunakan untuk analisis data maksimum seperti curah hujan dan debit banjir. Perhitungan distribusi gumbel dapat dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$X_t = \bar{X} + k.S \quad 2.7$$

$$k = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \quad 2.8$$

$$Y_{Tr} = -\ln \left[-\ln \frac{Tr-1}{Tr} \right] \quad 2.9$$

Keterangan:

Y_n = *Reduced mean* tergantung jumlah sampel atau data n

S_n = *Reduced standard deviation* tergantung pada jumlah sampel

Y_T = *Reduced variate*, nilai Tr untuk PUH tahunan rata-rata adalah 2,33

Tabel 2.3 Tabel Reduce Mean (Suripin, 2004)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.495	0.500	0.504	0.507	0.510	0.513	0.516	0.518	0.520	0.522
20	0.524	0.525	0.527	0.528	0.530	0.531	0.532	0.533	0.534	0.535
30	0.536	0.537	0.538	0.539	0.840	0.540	0.541	0.542	0.542	0.544
40	0.544	0.544	0.545	0.545	0.546	0.546	0.547	0.542	0.542	0.544
50	0.549	0.549	0.549	0.550	0.550	0.550	0.551	0.551	0.552	0.552
60	0.552	0.552	0.553	0.553	0.553	0.554	0.554	0.554	0.554	0.555
70	0.555	0.555	0.555	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556	0.557	0.557
80	0.557	0.557	0.557	0.557	0.056	0.558	0.558	0.558	0.558	0.559
90	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.560	0.560	0.560	0.560
00	0.560	0.560	0.560	0.560	0.561	0.561	0.561	0.561	0.561	0.561

Berdasarkan tabel diatas, nilai *reduce mean* didapatkan dengan cara melihat jumlah data curah hujan maksimum tahunan yang digunakan pada

penelitian tugas akhir, dimana jika jumlah data adalah 20 maka nilai $Y_n = 0,524$ dan seterusnya. Selanjutnya, nilai *reduced standard deviation* dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 2.4 Tabel Reduced Standard Deviation (Suripin, 2004)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.950	0.968	0.983	0.997	1.009	1.021	1.032	1.041	1.049	1.056
20	1.063	1.070	1.075	1.081	1.086	1.091	1.096	1.100	1.104	1.108
30	1.112	1.116	1.119	1.123	1.125	1.128	1.131	1.133	1.136	1.138
40	1.141	1.144	1.146	1.148	1.149	1.151	1.153	1.155	1.157	1.159
50	1.161	1.162	1.164	1.166	1.166	1.168	1.169	1.170	1.172	1.173
60	1.175	1.176	1.177	1.178	1.179	1.180	1.181	1.182	1.183	1.184
70	1.185	1.186	1.187	1.188	1.189	1.189	1.190	1.191	1.192	1.193
80	1.194	1.195	1.195	1.196	1.196	1.197	1.198	1.198	1.199	1.201
90	1.201	1.201	1.202	1.203	1.203	1.203	1.204	1.204	1.205	1.206
100	1.207	1.207	1.207	1.208	1.208	1.208	1.208	1.209	1.209	1.209

Berdasarkan tabel diatas, nilai *reduced standard deviation* didapatkan dengan cara melihat jumlah data curah hujan yang juga digunakan pada tugas akhir, misalkan jumlah data adalah 25 maka digunakan nilai N vertikal adalah 20 dan N horizontal pada angka 5 sehingga nilai S_n sebesar 1,091. Nilai S_n akan semakin besar ketika jumlah data yang digunakan juga berjumlah besar. Selanjutnya, nilai *reduced variate* dapat melihat tabel sebagai berikut :

Tabel 2.5 Nilai Reduce Variate (Suripin, 2004)

Periode ulang	Y_{Tr}
2	0.3668
5	1.5004
10	2.2510
20	2.9709
25	3.1993
50	3.9028
100	4.6012
200	5.2969
250	5.5206
500	6.2149
1000	6.9087
5000	8.5188

Berdasarkan tabel diatas, nilai *reduced variate* didapatkan dengan cara melihat hasil perhitungan berupa tahun yang digunakan pada tugas akhir. Diketahui bahwa nilai *reduced variate* akan semakin besar apabila periode ulang semakin lama. Apabila periode ulang hujan tidak ditemukan dalam tabel, bisa dilakukan dengan cara interpolasi.

c. Distribusi *Log Pearson Type III*

Metode distribusi ini cocok digunakan dalam kalkulasi probabilitas apa saja dikarenakan memiliki syarat fleksibel. Dalam menggunakan rumus metode log pearson nilai rata-rata hujan harian maksimum diubah menjadi logaritma. Adapun rumus perhitungan metode log pearson adalah sebagai berikut :

$$\overline{\text{Log}X} = \frac{\sum \text{Log}X_i}{n} \quad 2.10$$

$$Sd = \frac{\sum (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X})^2}{n-1} \quad 2.11$$

$$Cs = \frac{n \sum (\text{Log}x_i - \text{Log}x)^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \quad 2.12$$

$$\text{Log}X = \overline{\text{Log}X} + K.Sd \quad 2.13$$

Dimana:

LogX = Logaritma curah hujan rancangan (mm)

$\overline{\text{Log}X}$ = Logaritma rata-rata curah hujan (mm)

Cs = Kofisien kemencengan

K = Konstanta dari nilai Cs

Sd = Simpangan baku (mm)

Tabel 2.6 Nilai K Distribusi Log Pearson Type III (Suripin, 2004)

Cs	Periode Ulang (Tahun)							
	1.0101	1.25	2	5	10	25	50	100
	Persentase Peluang (%)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3	-0.667	-0.636	-0.396	-0.42	1.18	2.278	3.152	4.051
2.8	-0.714	-0.666	-0.384	0.46	1.21	2.275	3.114	3.973

Cs	Periode Ulang (Tahun)							
	1.0101	1.25	2	5	10	25	50	100
	Persentase Peluang (%)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
2.6	-0.769	-0.696	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	2.889
2.4	-0.832	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.8
2.2	-0.905	-0.752	-0.33	0.574	1.284	2.24	2.97	3.705
2	-0.99	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.892	3.605
1.8	-1.087	-0.799	-0.282	0.643	1.319	2.193	2.848	3.499
1.6	-1.197	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.78	3.388
1.4	-1.318	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271
1.2	-1.449	-0.844	-0.195	0.732	1.34	2.187	2.626	3.149
1	-1.588	-0.852	-0.164	0.758	1.34	2.043	2.542	3.022
0.8	-1.733	-0.856	-0.132	0.78	1.336	1.993	2.453	2.891
0.6	-1.88	-0.857	-0.099	0.8	1.328	1.939	2.359	2.755
0.4	-2.029	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.88	2.261	2.615
0.2	-2.178	-0.85	-0.033	0.83	1.301	1.818	2.159	2.472
0	-2.326	-0.842	0	0.842	1.282	1.751	2.051	2.326
-0.2	-2.472	-0.83	0.033	0.85	1.258	1.68	1.945	2.178
-0.4	-2.615	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029
-0.6	-2.755	-0.8	0.099	0.857	1.2	1.528	1.72	1.88
-0.8	-2.891	-0.78	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733
-1	-3.022	-0.758	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588
-1.2	-2.149	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449
-1.4	-2.271	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.198	1.27	1.318
-1.6	-2.388	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197
-1.8	-3.499	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087
-2	-3.605	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.959	0.98	0.99
-2.2	-3.705	-0.574	0.33	0.752	0.844	0.888	0.9	0.905
-2.4	-3.8	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.823	0.83	0.832
-2.6	-3.889	-0.49	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769
-2.8	-3.973	-0.469	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714
3	-7.051	-0.42	0.396	0.636	0.66	0.666	0.666	0.667

Berdasarkan tabel diatas, harga K didapatkan dengan cara melihat hasil perhitungan dari koefisien kemencengan dan periode ulang.

d. Distribusi Log Normal

Perhitungan dilakukan dengan merubah parameter statistik menjadi bentuk logaritma. Metode log normal dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Log}X = \overline{\text{Log}X} + Kt + S_{\log x}$$

2.14

Dimana:

$\text{Log}X$ = Logaritma curah hujan rancangan (mm)

$\overline{\text{Log}X}$ = Logaritma rata-rata curah hujan (mm)

Kt = Konstanta dari nilai C_v

$S_{\log x}$ = Simpangan baku (mm)

Tabel 2.7 Nilai Kt (CD Soemarto, 1999)

T (tahun)	Kt	T (tahun)	Kt	T (tahun)	Kt
1	-1.86	20	1.89	90	3.33
2	-0.22	25	2.10	100	3.45
3	0.17	30	2.27	110	3.53
4	0.44	35	2.41	120	5.62
5	0.64	40	2.54	130	3.70
6	0.81	45	2.65	140	3.77
7	0.95	50	2.75	150	3.84
8	1.06	55	2.86	160	3.91
9	1.17	60	2.93	170	3.97
10	1.26	65	3.02	180	4.03
11	1.35	70	3.08	190	4.09
12	1.43	75	3.60	200	4.14
13	1.50	80	3.21	221	4.24
14	1.57	85	3.28	240	4.33
15	1.63	90	3.33	260	4.42

Berdasarkan tabel diatas, harga Kt didapatkan dengan cara melihat frekuensi tahun dimana semakin lama maka nilai Kt akan semakin besar.

2.2.5 Uji Kesesuaian Distribusi

Uji kesesuaian atau kecocokan bertujuan untuk mengetahui apakah metode distribusi yang telah sesuai dengan syarat kemungkinan teoritis dapat sesuai pula atau mewakili seluruh data. Uji probabilitas dilakukan dengan 2 cara yakni sebagai berikut :

- a. Uji Chi-Kuadrat

Pengujian dilakukan untuk menentukan persamaan sebaran peluang yang telah dipilih sehingga mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis didasarkan pada jumlah pengamatan. Perhitungan dilakukan dengan membagi kelas dan menentukan jumlah data pengamatan yang sesuai di dalam masing-masing kelas tersebut. Soewarno (1995), memberikan tahapan prosedur dalam uji chi-kuadrat meliputi mengurutkan data, klasifikasikan data menjadi beberapa kelas, hitung jumlah pengamatan di masing-masing kelas (O_i), hitung jumlah data yang secara teoritis pada masing-masing kelas (E_i), hitung menggunakan rumus chi-kuadrat, menghitung derajat kebebasan (Dk), melakukan banding antara hasil chi-kuadrat hitung dan chi-kuadrat kritis.

Persamaan uji chi-kuadrat ditunjukkan pada rumus sebagai berikut :

$$X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad 2.15$$

Dimana:

X^2 = Chi-kuadrat

O_i = Jumlah nilai yang diamati pada sub kelas ke-i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelas ke-i

Dalam metode uji chi-kuadrat, derajat kepercayaan (α) yang sering dipakai adalah sebesar 5%. Derajat kebebasan (Dk) dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Dk = K - (p + 1) \quad 2.16$$

$$K = 1 + 3,322 \log n \quad 2.17$$

Dimana:

Dk = Derajat kebebasan

p = banyaknya parameter, untuk uji Chi-kuadrat adalah 2

K = Jumlah kelas distribusi

n = Jumlah data

Perbandingan dilakukan untuk menentukan distribusi probabilitas mana yang mempunyai simpangan lebih kecil dari simpangan kritis, dimana menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Xh^2 < X^2_{cr} \quad 2.18$$

Keterangan:

X_h^2 = Chi-kuadrat hitung

X_{cr}^2 = Chi-kuadrat kritis dilihat yang dapat dilihat tabel

Tabel 2.8 Nilai Parameter Chi-Kuadrat Kritis (Kamiana, 2011)

Derajat Bebas	0.200	0.100	0.050	0.010	0.001
1	1.642	2.706	3.841	6.635	10.827
2	3.219	4.605	5.991	9.210	13.815
3	4.642	6.251	7.815	11.345	16.268
4	5.989	7.779	9.488	13.277	18.465
5	7.289	9.236	11.070	15.086	20.517
6	8.558	10.645	12.592	16.812	22.457
7	9.803	12.017	14.067	18.475	24.322
8	11.030	13.362	15.507	20.090	26.125
9	12.242	14.987	16.919	21.666	27.877
10	13.442	15.987	18.307	23.209	29.588
11	14.631	17.275	19.675	24.725	31.264
12	15.812	18.549	21.026	26.217	32.909
13	16.985	19.812	22.362	27.688	34.528
14	18.151	21.064	23.685	29.141	36.123
15	19.311	22.307	24.996	30.578	37.697
16	20.465	23.542	26.296	32.000	39.252
17	21.615	24.769	27.587	33.409	40.790
18	22.760	25.989	28.869	34.805	42.312
19	23.900	27.204	30.144	36.191	43.820
20	25.038	28.412	31.410	37.566	45.315

Berdasarkan tabel diatas, nilai chi-kuadrat kritis tergantung pada besaran persentase derajat bebas.

b. Smirnov Kolmogorof

Uji yang dilakukan dengan metode ini adalah membandingkan probabilitas pada masing-masing variabel sehingga didapatkan perbedaan, dimana perbedaan maksimum harus lebih kecil dari perbedaan kritis. Pengujian dilakukan dengan mengurutkan data dan menentukan selisih terbesar lalu menentukan nilai kritis D_0 , perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$D = \text{Maks} |P(X_m) - P'(X_m)| \quad 2.19$$

$$P(X_m) = \frac{m}{1+n} \quad 2.20$$

$$P'(X_m) = f(t) = 1 - t \quad 2.21$$

$$F(t) = \frac{X - Xrt}{S} \quad 2.22$$

$$D_{maks} < D_{kritis} \quad 2.23$$

Dimana:

$P(X_m)$ = Posisi data X menurut distribusi teoritis

$P'(X_m)$ = Posisi data X menurut distribusi pengamatan

Tabel 2.9 Nilai D_0 Kritis pada Uji Smirnov-Kolmogorof (Soewarno, 1995)

Jumlah data (N)	α (derajat kepercayaan)			
	0.20	0.10	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	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
$n > 50$	$1.07/n$	$1.22/n$	$1.36/n$	$1.63/n$

Berdasarkan tabel diatas, nilai chi-kuadrat kritis tergantung pada besaran persentase derajat bebas.

2.2.6 Intensitas Hujan

Tinggi nya air hujan per satuan waktu (mm/menit; mm/jam; mm/hari) merupakan arti dari intensitas hujan. Semakin lama durasi hujan berlangsung maka semakin kecil intensitas hujan tersebut dan sebaliknya. Dalam tugas akhir ini digunakan rumus Dr. Mononobe sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad 2.22$$

Dimana:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R₂₄ = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t = Waktu konsentrasi hujan (jam)

2.2.7 Waktu Konsentrasi (t_c)

Waktu konsentrasi merupakan waktu yang dibutuhkan oleh air hujan yang jatuh di titik terjauh pada permukaan tanah dalam daerah tangkapan air ke saluran terdekat (t₀) dan ditambah waktu untuk mengalir sampai di titik saluran drainase yang ditinjau. Waktu konsentrasi tergantung pada daerah tangkapan, tata guna lahan, dimensi saluran dan jarak lintasan air. Waktu konsentrasi dapat dihitung menggunakan persamaan Kirpich sebagai berikut :

$$t_c = 0,0195 L^{0,77} . S^{-0,385} \quad 2.23$$

atau

$$t_c = t_0 + t_d \quad 2.24$$

Dimana:

t_c = Waktu konsentrasi (menit)

L = Panjang pengaliran (meter)

S = Kemiringan rata-rata

t₀ = Waktu pengaliran air diatas permukaan tanah menuju inlet (menit)

t_d = Waktu pengaliran air didalam saluran ke titik yang ditinjau (menit)

2.2.8 Waktu Konsentrasi Pengaliran pada Lahan (t₀)

Definisi t₀ adalah waktu yang dibutuhkan limpasan air hujan pada lahan untuk mengalir ke saluran. Perhitungan t₀ dilakukan dengan menggunakan persamaan Kirby sebagai berikut :

$$t_0 = 1,44 \times \left[nd \times \frac{l}{\sqrt{s}} \right]^{0,467} \quad 2.25$$

Dimana:

t₀ = Waktu pengaliran pada lahan (menit)

- nd = Koefisien hambatan lahan
 l = Jarak limpasan dari titik terjauh menuju *inlet*
 s = Kemiringan lahan

Tabel 2.10 Hubungan Kondisi Permukaan dengan Koefisien Hambatan (Bina Marga, 1990)

Kondisi Lapis Permukaan	nd
Lapisan semen dan aspal beton	0.013
Permukaan licin dan kedap air (<i>impervious</i>)	0.020
Permukaan licin dan kotor	0.010
Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0.200
Padang rumput dan rerumputan	0.400
Hutan gundul	0.600
Hutan rimbun dan hutan gundul rapat dengan hampan rumput jarang sampai rapat	0.800

Berdasarkan tabel diatas, nilai koefisien hambatan akan semakin besar ketika lapisan permukaan memiliki pertumbuhan tanaman yang lebat dikarenakan terdapat akar tumbuh-tumbuhan yang memungkinkan untuk menyerap lebih banyak air untuk kebutuhannya.

2.2.9 Waktu Konsentrasi Pengaliran pada Saluran (t_f)

Waktu pengaliran di saluran adalah lamanya waktu yang dibutuhkan suatu limpasan air yang berada di saluran mengalir ke saluran tertentu. Perhitungan t_f dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$t_f = \frac{L}{v} \quad 2.26$$

Dimana:

- t_f = Waktu pengaliran (menit)
 L = Panjang saluran yang dilintasi limpasan (meter)
 V = Kecepatan aliran limpasan air pada saluran (m/detik)

Apabila t_0 dan t_f diketahui, maka waktu konsentrasi (t_c) dapat pula dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t_c = t_0 + t_f \quad 2.27$$

Dimana:

- t_c = Waktu konsentrasi (menit)
 t_f = Waktu pengaliran (menit)
 t_0 = Waktu pengaliran pada lahan (menit)

2.2.10 Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran di notasi kan dengan C dimana harga C tergantung jenis tanah, kemiringan, luas dan bentuk pengaliran. Berdasarkan SNI-03-3242-1994, koefisien pengaliran tidak dapat disamakan nilainya tergantung pada daerah pembebasan dan daerah sekelilingnya, sehingga harus dilakukan perhitungan rata-rata pada masing-masing lahan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C = \frac{C_1 \times A_1 + C_2 \times A_2 + \dots}{A_1 + A_2 + \dots} \quad 2.28$$

Dimana:

- C = Koefisien pengaliran gabungan
 C_1, C_2 = Koefisien pengaliran sesuai komponen lahan
 A_1, A_2 = Luas daerah pengaliran sesuai komponen lahan (km^2)

Tabel 2.11 Koefisien Limpasan (*Goergia Stormwater Management, 2001*)

Penggunaan Lahan	C	Penggunaan Lahan	C
Halaman		Industri	
Tanah berpasir, datar, 2%	0.10	Ringan	0.70
Tanah berpasir, rata-rata, 2-7%	0.15	Berat	0.80
Tanah berpasir, miring, >7%	0.20	Taman, kuburan	0.25
Tanah lempung, datar, 2%	0.17	Taman bermain	0.35
Tanah lempung, rata-rata, 2-7%	0.22	Rel kereta api	0.40
Tanah lempung, miring, >7%	0.35	Jalan	
Hutan/Bervegetasi	0.15	Aspal dan beton	0.95
Perkantoran		Batu bata	0.85
Perkotaan	0.95	Trotoar dan atap	0.95
Pinggiran	0.70	Daerah berkerikil	0.50
Perumahan		Tanah kosong (tidak ada penutup berupa tanaman)	

Penggunaan Lahan	C	Penggunaan Lahan	C
Permukiman (Rumah tinggal)	0.50	Tanah berpasir, datar, 0-5%	0.30
Multi-unit, terpisah	0.60	Berpasir, rata-rata, 5-10%	0.40
Multi-unit, tergabung	0.70	Tanah lempung, datar, 0-5%	0.50
Permukiman (Perkampungan)	0.40	Lempung, rata-rata, 5-10%	0.60
Apartemen	0.70		

Berdasarkan tabel diatas, besarnya nilai koefisien limpasan tergantung pada jenis tutupan daerah nya, ketika komponen permukaan lahan memiliki tutupan lahan seperti aspal dan beton maka nilai koefisien pengaliran akan besar dikarenakan sulitnya tanah untuk menyerap air sehingga limpasan air akan mengalir langsung ke saluran.

2.2.11 Debit Banjir

Debit banjir rencana dinotasikan dengan Q_t merupakan debit yang akan masuk ke bangunan air dengan periode ulang tertentu. Beberapa metode yang dapat digunakan dalam menghitung debit banjir terdapat metode Rasional, metode Weduwen, metode Haspers dan metode hidrograf satuan sintetik (HSS) Nakayasu. Analisis Q_t lebih sering menggunakan metode rasional dikarenakan sederhana dan mudah dipahami. Perhitungan debit banjir menggunakan metode rasional memiliki daerah pengaliran yang terbatas. Debit banjir metode rasional digunakan untuk mendapatkan debit banjir pada kawasan perumahan. Persamaan metode rasional adalah sebagai berikut :

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad 2.31$$

Dimana:

Q = Debit hidrologi ($m^3/detik$)

C = Koefisien pengaliran

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran (km^2)

Metode hidrograf satuan sintetik (HSS) nakayasu digunakan untuk mendapatkan debit di saluran kota yang mengalir ke kawasan perumahan. Parameter-parameter yang dibutuhkan antara lain kurun waktu dari permukaan

hujan sampai puncak hidrograf, dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf, *time base of hydrograph*, luas daerah aliran sungai dan panjang sungai terpanjang

Persamaan metode nakayasu adalah sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{CA.R_o}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad 2.32$$

Dimana:

Q_p = debit puncak banjir (m^3/det)

R_o = hujan satuan (mm)

T_p = kurun waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari puncak hingga 30% debit puncak (jam)

C = koefisien pengaliran gabungan

A = luas daerah pengaliran hingga outlet (km^2)

Menentukan besarnya nilai T_p dan $T_{0,3}$ dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_p = t_g + 0,8t_r \quad 2.33$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad 2.34$$

$$t_r = 0,5t_g \text{ sampai } t_g \quad 2.35$$

Dimana:

t_g = waktu antara hujan hingga debit puncak banjir (jam)

- Nilai t_g dengan sungai yang memiliki panjang $L > 15$ km dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \quad 2.36$$

- Nilai t_g dengan sungai yang memiliki panjang $L < 15$ km dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t_g = 0,21 L^{0,7} \quad 2.37$$

Nilai α pada $T_{0,3}$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dan memiliki syarat sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{0,47 (A \cdot L^{0,25})}{t_g} \quad 2.38$$

- $\alpha = 2$; daerah pengaliran biasa
 $\alpha = 1,5$; bagian naik hidrograf lambat dan turun cepat
 $\alpha = 3$; bagian naik hidrograf cepat dan turun lambat

Selanjutnya bentuk hidrograf satuan sintetis dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

Pada waktu naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad 2.39$$

Pada kurva turun selang nilai $T_p \leq t \leq (T_p + T_{0,3})$

$$Q_{d1} = Q_p \cdot 0,3 \frac{(t-T_p)}{T_{0,3}} \quad 2.40$$

Pada kurva turun selang nilai $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_{d2} = Q_p \cdot 0,3 \frac{(t-T_p+0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}} \quad 2.41$$

Pada kurva turun selang nilai $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_{d3} = Q_p \cdot 0,3 \frac{(t-T_p+1,5T_{0,3})}{2T_{0,3}} \quad 2.42$$

2.3 Hidrolika Saluran

Analisis hidrolika dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas saluran eksisting terhadap debit banjir rencana sehingga mengetahui kebutuhan dimensi saluran yang sesuai dengan debit banjir yang masuk. Adapun bentuk penampang saluran drainase pada penelitian tugas akhir yakni sebagai berikut:

- a. Persegi Panjang

$$A = B \times H \quad 2.43$$

$$P = B + 2H \quad 2.44$$

Dimana:

B = Lebar saluran (m)

H = Tinggi saluran (m)

- b. Setengah Lingkaran

$$A = \frac{1}{8} \times \pi D^2 \quad 2.45$$

$$P = \frac{1}{2} \times \pi D \quad 2.46$$

Dimana:

D = Diameter saluran (m)

c. Lingkaran (Gorong-Gorong)

$$Fb = D - (0,814D) \quad 2.47$$

$$A = \frac{1}{4} \times \pi D^2 \quad 2.48$$

$$y = r - Fb \quad 2.49$$

$$a = \frac{y}{r} \quad 2.50$$

$$\beta = 360 - 2a \quad 2.51$$

$$P = \frac{\beta}{360} \times 2\pi r \quad 2.52$$

Dimana:

r = Jari-jari saluran (m)

D = Diameter saluran (m)

Fb = Tinggi jagaan (m)

2.3.1 Kapasitas Saluran Drainase

Kapasitas saluran dalam mengalirkan debit banjir dipengaruhi oleh luas penampang dan kecepatan aliran. Kecepatan aliran tergantung pada kemiringan saluran, radius hidraulik dan koefisien kekasaran saluran. Kapasitas saluran drainase dihitung menggunakan rumus Manning karena merupakan saluran terbuka dimana persamaannya sebagai berikut :

$$R = \frac{A}{P} \quad 2.53$$

$$Q_{\text{kapasitas}} = V \times A \quad 2.54$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad 2.55$$

Dimana:

Q kapasitas = Debit maksimum saluran ($m^3/detik$)

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

A = Luas penampang basah (m^2)

P = Keliling penampang (m)

n = Koefisien kekasaran saluran

R = Jari-jari hidraulik saluran (m)

I = Kemiringan saluran (m^2)

Tabel 2.12 Koefisien Kekasaran Manning (Bappeda Kota Balikpapan, 2006)

Tipe saluran	n
Saluran dari pasangan batu tanpa plengsengan	0.025
Saluran dari batu	0.025
Saluran alam dengan rumput	0.020
Saluran dari beton	0.017
Saluran dari pasangan batu dengan plengsengan	0.015

Berdasarkan tabel diatas, nilai kekasaran akan semakin besar ketika saluran menggunakan beton dan batu sebagai material penyusun. Hal ini dikarenakan material tersebut cenderung memiliki tekstur yang kasar.

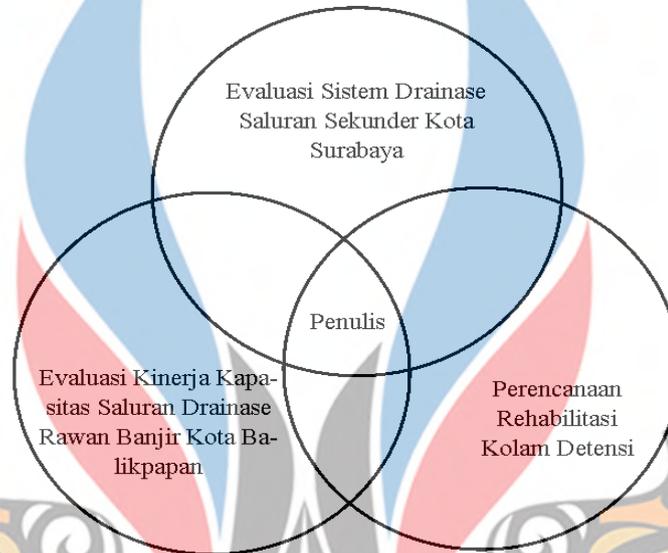
Tabel 2.13 Koefisien Kekasaran Pipa (slideshare.net)

Jenis Saluran	Koefisien Kekasaran Manning (n)
Pipa Besi Tanpa Lapisan	0.012 - 0.015
Dengan Lapisan Semen	0.012 - 0.013
Pipa Berlapis Gelas	0.011 - 0.017
Pipa Asbestos Semen	0.010 - 0.015
Saluran Pasangan Batu Bata	0.012 - 0.017
Pipa Beton	0.012 - 0.016
Pipa Baja Spiral & Pipa Kelingan	0.013 - 0.017
Pipa Plastik Halus (PVC)	0.002 - 0.012
Pipa Tanah Liat	0.011 - 0.015

Berdasarkan tabel diatas, nilai kekasaran pada pipa talang akan dipilih berdasarkan material bahan dari talang yang digunakan.

2.4 Diagram Venn Penelitian

Diagram venn bertujuan untuk mengetahui acuan metode penelitian tugas akhir didapatkan. Dalam hal ini, dapat dilihat posisi penulis dalam penggunaan metode dengan mengacu pada penelitian yang telah ada sebelumnya. Adapun diagram venn penelitian ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Diagram Venn Penelitian (Penulis, 2021)

Berdasarkan gambar diatas, terdapat beberapa penelitian dengan metode re-desain yang berbeda. Dalam hal ini, penulis berada di irisan ketiganya yang menyesuaikan bentuk penampang eksisting dan bangunan pelengkap yang digunakan.

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan penelitian di bidang yang sama oleh tugas akhir ini sehingga penulis menjadikan penelitian tersebut sebagai referensi. Penelitian terdahulu ini didapatkan dari tugas akhir universitas lain dan jurnal-jurnal nasional seperti ditunjukkan pada tabel sebagai berikut :

Tabel 2.14 Penelitian Terdahulu (Penulis, 2021)

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Sari dkk, 2014	Metode : penentuan catchment area dan

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
2	Pongtuluran dkk, 2019	<p>distribusi curah hujan, perhitungan curah hujan rencana, perhitungana intensitas hujan, perhitungan debit banjir rencana dengan <i>software</i> SWMM, perencanaan dimensi saluran primer, perencanaan kolam detensi dan bangunan pelengkapnnya serta perkuatan menggunakan <i>pile</i>.</p> <p>Hasil : debit rencana yang diperoleh melalui pemodelan di SWMM didapatkan sebesar 11 m³/dtk, dimensi saluran primer sisi kiri didapatkan sebesar 2 × 1,5 meter sedangkan sisi kanan sebesar 1,5 × 1,5 meter, saluran pada bagian <i>inflow spillway</i> berdimensi 4 × 3 meter, kolam tampungan yang dibutuhkan yakni sebesar 75888 m³ dengan luas 4,9 Ha kedalaman kolam sebesar 5 meter dimana perkuatan <i>pile</i> berdiameter 1000 mm tinggi <i>pile</i> 12 meter, dan menggunakan 8 pompa yang memiliki kapasitas 4 m³ dimana terdapat 2 pompa sebagai cadangan serta biaya pembangunan kolam detensi sebesar Rp 121.865.180.900,00</p>
3	Muhammad Aria .S dan Lazuardi Bani .M	<p>Metode : Analisis frekuensi hujan harian maksimum menggunakan metode distribusi, menghitung intensitas curah hujan menggunakan metode mononobe, data –data hidrologi dianalisis dengan menggunakan <i>software Arcgis 2.0</i>, pengukuran dimensi saluran eksisting dilapangan kemudian diadakan perhitungan hidrolika, perencanaan dimensi saluran optimum dan membuat kolam sedimentasi/bak control dengan bentuk yang sama dengan saluran namun memiliki kedalaman yang berdeda.</p> <p>Hasil : Kondisi saluran drainase sebagian besar masih dapat menampung debit rencana, namun terdapat 2 titik saluran yang tidak dapat lagi menampung debit rencana yakni saluran P3 dan S8 yang setelah direncanakan ulang terjadi perubahan ketinggian saluran sebesar 1,181 dan 1,765 meter.</p> <p>Metode : Evaluasi sistem drainase saluran sekunder Gayung Kebonsari Surabaya dengan</p>

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
(2017)		merencanakan dimensi box culvert. Hasil : Banjir disebabkan oleh kapasitas eksisting saluran tidak mampu mengalirkan debit rencana, kapasitas saluran hasil redesain box culvert adalah 7,167 m ³ /detik dengan dimensi lebar saluran 4 m dan kedalaman saluran 3,5 m.

Berdasarkan penelitian terdahulu pada tabel 2.14 penelitian tugas akhir ini menggunakan metode yang sama yakni analisis hidrologi untuk mendapat debit banjir, analisis hidrolika untuk mengetahui kapasitas saluran eksisting, kemudian mendapat dimensi saluran drainase untuk dapat mengaliri debit hidrologi serta perencanaan bangunan pelengkap. Adapun posisi penelitian pada tugas akhir dapat dilihat dalam Tabel 2.15 sebagai berikut :

Tabel 2.15 Letak Penelitian (Penulis, 2021)

Sumber	Analisis Hidrologi	Analisis Hidrolika	Perencanaan Ulang Dimensi Saluran	Perencanaan Bangunan Pelengkap
Sari dkk (2014)	✓	✓		✓
Pongtulan dkk (2019)	✓	✓	✓	✓
Muhammad A. dan Lazuardi (2017)	✓	✓	✓	
Penulis (2021)	✓	✓	✓	✓

Penelitian yang dilakukan oleh ketiga sumber memiliki metode-metode penelitian yang dapat digunakan dan dirasa mampu memberikan hasil yang ingin dicapai, namun terjadi perbedaan dalam penelitian tugas akhir ini yakni pada bentuk penampang saluran eksisting dan bangunan pelengkap yang digunakan.