

BAB II

www.itk.ac.id

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Analisis Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, proses terjadinya peredaran dan persebarannya, sifat-sifat kimia dan fisiknya, dan reaksi dengan lingkungannya, termasuk hubungannya dengan makhluk-makhluk hidup (*International Glossary of Hidrology*, 1974). Analisis hidrologi dilakukan dengan cara mengkaji data-data hidrologi berupa kecepatan aliran, curah hujan, dan konsentrasi sedimen sungai. Data-data hidrologi akan selalu berubah terhadap waktu (Soewarno, 1995). Analisis hidrologi diperlukan dalam suatu perencanaan yang berbasis air, sehingga dalam analisis *Zero Delta Q Policy* dilakukan analisis hidrologi yaitu analisis debit rencana dengan tahapan analisis sebagai berikut:

1. Menentukan curah hujan maksimum tiap tahunnya dari data curah hujan yang ada.
2. Menganalisis curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun.
3. Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana di atas pada periode ulang T tahun.

2.1.1. Analisis Hujan Rencana

Analisis hujan rencana digunakan sebagai peramalan curah hujan rencana pada periode ulang T tahun. Menurut Suripin (2004) terdapat empat metode distribusi sesuai ilmu statistik yang digunakan dalam bidang hidrologi, antara lain:

1. Metode Distribusi Normal
2. Metode Distribusi *Log Normal*
3. Metode Distribusi *Log Pearson Type III*
4. Metode Distribusi Gumbel

Perhitungan yang dilakukan menggunakan keempat metode tersebut masing-masing memiliki parameter yang saling berkaitan dengan analisis data, antara lain parameter nilai rata-rata (\bar{X}), simpangan baku atau standar deviasi

www.itk.ac.id

(*Sd*), koefisien variasi (*Cv*), koefisien kemencengan (*Cs*), dan koefisien kurtosis (*Ck*). Sesuai dengan yang tertulis dalam Suripin (2004) dan Soewarno (1995):

a. Nilai Rata-Rata (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.1)$$

Dimana:

- \bar{X} = Nilai rata-rata (*mm*)
- X_i = Nilai pengukuran dari suatu variant (*mm*)
- n = Jumlah data

b. Simpangan Baku atau Standar Deviasi (*Sd*)

$$Sd = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

Dimana:

- Sd* = Simpangan baku atau standar deviasi (*mm*)
- \bar{X} = Nilai rata-rata (*mm*)
- X_i = Nilai pengukuran dari suatu variant (*mm*)
- n = Jumlah data

c. Koefisien Variasi (*Cv*)

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{X}} \quad (2.3)$$

Dimana:

- Cv* = Koefisien variasi
- Sd* = Simpangan baku atau standar deviasi (*mm*)
- \bar{X} = Nilai rata-rata (*mm*)

d. Koefisien kemencengan (*Cs*)

$$Cs = \frac{nx \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \quad (2.4)$$

Dimana:

- Cs* = Koefisien kemencengan
- Sd* = Simpangan baku atau standar deviasi (*mm*)

\bar{X} = Nilai rata-rata (*mm*)
 X_i = Nilai variant ke-I (*mm*)
 n = Jumlah data

e. Koefisien Kurtosis (*Ck*)

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

Ck = Koefisien kurtosis
 Sd = Simpangan baku atau standar deviasi (*mm*)
 \bar{X} = Nilai rata-rata (*mm*)
 X_i = Nilai variant ke-i (*mm*)
 n = Jumlah data

Koefisien kemencengan dan koefisien kurtosis dapat ditentukan pula sesuai parameter teoritis dengan syarat menurut Departemen Pekerjaan Umum pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

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

Distribusi Teoritis	Parameter Statistik Teoritis
Normal	$Cs = 0 ; Ck = 3$
Log Normal	$Cs = 3 ; Ck = 3 \times Cv$
Gumbel Tipe I	$Cs \leq 1,14 ; Ck \leq 5,40$
Log Person Tipe III	Cs dan $Ck =$ Fleksibel

Tabel 2.1 menunjukkan syarat-syarat parameter statistik tiap-tiap distribusi yang dapat digunakan. Syarat-syarat tersebut berdasarkan hasil perhitungan, apabila perhitungan nilai Cs dan Ck telah memenuhi suatu distribusi, maka distribusi tersebut yang akan digunakan pada tahap uji kecocokan.

1. Metode Distribusi Normal

Analisis metode distribusi normal menurut Suripin (2004) menggunakan persamaan praktis dengan parameter sebagai berikut:

$$X_t = \mu + K_t.S_d \quad (2.6)$$

www.itk.ac.id

Dimana:

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

μ = Nilai rata-rata

S_d = Standar deviasi

K_t = Faktor frekuensi, merupakan fungsi peluang atau periode ulang yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Faktor Frekuensi, K_t Sebagai Nilai Variabel Reduksi *Gauss* (Bonnier (1980) dalam Suripin, 2004)

No.	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	K_t
1	1,001	0,999	-3,05
2	1,005	0,995	-2,58
3	1,010	0,990	-2,33
4	1,050	0,950	-1,64
5	1,110	0,900	-1,28
6	1,250	0,800	-0,84
7	1,330	0,750	-0,67
8	1,430	0,700	-0,52
9	1,670	0,600	-0,25
10	2,000	0,500	0
11	2,500	0,400	0,25
12	3,330	0,300	0,52
13	4,000	0,250	0,67
14	5,000	0,200	0,84
15	10,000	0,100	1,28
16	20,000	0,050	1,64
17	50,000	0,020	2,05
18	100,000	0,010	2,33
19	200,000	0,005	2,58
20	500,000	0,002	2,88

www.itk.ac.id

No.	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	Kt
21	1000,000	0,001	3,09

Tabel 2.2 menunjukkan faktor frekuensi yang menunjukkan faktor frekuensi yang disesuaikan dengan periode ulang, nilai dalam tabel akan digunakan untuk mempermudah perhitungan.

2. Metode Distribusi Log Normal

Analisis metode distribusi log normal menggunakan persamaan praktis menurut Suripin (2004) dengan parameter sebagai berikut:

$$Y_t = \bar{Y} + Kt.Sd \quad (2.7)$$

Dimana:

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

\bar{Y} = Nilai rata-rata

Sd = Standar deviasi

Kt = Faktor frekuensi, merupakan fungsi peluang atau periode ulang yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 di atas.

3. Metode Distribusi Log Pearson Type III

Metode distribusi log pearson type III adalah distribusi yang dilakukan untuk menguatkan pendekatan antara data dan teori dari metode sebelumnya yaitu metode distribusi log normal (Suripin, 2004). Parameter yang digunakan antara lain harga rata-rata, simpangan baku, dan koefisien kemencengan. Tahap-tahap analisis dalam metode distribusi log pearson type III adalah sebagai berikut:

a. Menghitung harga rata-rata

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

Dimana:

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

X_i = Nilai variant ke-i (mm)

n = Jumlah data

- b. Menghitung harga simpangan baku

$$Sd = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.9)$$

Dimana:

Sd = Simpangan baku atau standar deviasi (mm)

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

X_i = Nilai pengukuran dari suatu variant (mm)

n = Jumlah data

- c. Menghitung koefisien kemencengan

$$Cs = \frac{n \sum (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2) \times Sd^3} \quad (2.10)$$

Dimana:

Cs = Koefisien kemencengan

Sd = Simpangan baku atau standar deviasi (mm)

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

X_i = Nilai pengukuran dari suatu variant (mm)

n = Jumlah data

Hasil perhitungan pada koefisien kemencengan apabila sama dengan nol ($Cs=0$) maka kembali menggunakan metode distribusi log normal.

- d. Menghitung logaritma hujan atau banjir menggunakan periode ulang T dengan persamaan:

$$\log X_T = \log \bar{X} + K.Sd \quad (2.11)$$

Dimana besarnya parameter nilai K pada persamaan 2.11 dapat dilihat pada Tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Nilai K Distribusi *Log Pearson* (Suripin, 2004)

		Periode Ulang (Tahun)							
		1,0101	1,25	2	5	10	25	50	100
CS		Persentase Peluang (%)							
		99	80	50	20	10	4	2	1

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	-0.667	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	2.051
2.8	-0.714	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973
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	3.800
2.2	-0.905	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705
2.0	-0.990	-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	2.780	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	1.340	2.187	2.626	3.149
1.0	-1.588	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022
0.8	-1.733	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891
0.6	-1.880	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755
0.4	-2.029	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615
0.2	-2.178	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472
0.0	-2.326	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.751	2.051	2.326
-0.2	-2.472	-0.830	0.033	0.850	1.258	1.680	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	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880
-0.8	-2.891	-0.780	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733
-1.0	-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	1.270	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
-2.0	-3.605	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990
-2.2	-3.705	-0.574	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905
-2.4	-3.800	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832
-2.6	-3.889	-0.490	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

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	-7.051	-0.420	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667

Tabel 2.3 menunjukkan nilai K yang merupakan variabel standar untuk nilai X yang didapat berdasarkan besaran koefisien kemencengan (C_s). Perhitungan selanjutnya yaitu melakukan perhitungan antilog dari $\log X_T$ untuk mendapatkan nilai dari hujan atau banjir pada kala ulang T-tahunan.

4. Metode Distribusi Gumbel

Metode distribusi Gumbel adalah metode yang dilakukan dengan harga-harga ekstrim sebagai fungsi distribusi eksponensial ganda (Suripin, 2004). Berdasarkan hasil substitusi didapatkan persamaan akhir sebagai berikut:

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

Dimana:

X = Hujan dengan masa ulang

S = Standar deviasi

Y_n = Nilai rata-rata dari reduksi variat (*mean of reduced variate*) yang

nilainya tergantung dari data (n) dan dapat dilihat pada Tabel 2.4 sebagai berikut:

Tabel 2.4 Reduced Mean Y_n (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	0.540	0.540	0.541	0.542	0.542	0.543
40	0.544	0.544	0.545	0.545	0.546	0.546	0.547	0.547	0.548	0.548
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	0.558	0.558	0.558	0.558	0.558	0.558
90	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.560	0.560	0.560	0.560

<i>N</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	0.560	0.560	0.560	0.560	0.561	0.561	0.561	0.561	0.561	0.561

Parameter yang dibutuhkan dalam menentukan nilai Y_n adalah jumlah data (N) curah hujan maksimum tahunan yang dimiliki. Apabila menggunakan data permissalan untuk 10 tahun, maka yang digunakan adalah nilai N secara vertikal pada angka 10 dan nilai N secara horizontal pada angka 0, didapatkan hasil Y_n dengan $N=10$ tahun sebesar 0,495. S_n = Deviasi standar dari reduksi variat, nilainya tergantung dari jumlah data (N) dan dapat dilihat pada Tabel 2.5 sebagai berikut:

Tabel 2.5 *Reduced Standard Deviation S_n* (Suripin, 2004)

<i>N</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.950	0.968	0.983	0.997	1.010	1.021	1.032	1.041	1.049	1.057
20	1.062	1.070	1.075	1.081	1.086	1.092	1.096	1.100	1.105	1.109
30	1.112	1.116	1.119	1.123	1.126	1.129	1.131	1.134	1.136	1.139
40	1.141	1.1444	1.146	1.148	1.150	1.152	1.154	1.156	1.157	1.159
50	1.161	1.162	1.164	1.166	1.167	1.168	1.170	1.171	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	1.191	1.192	1.192	1.193
80	1.194	1.195	1.195	1.196	1.197	1.197	1.198	1.199	1.199	1.200
90	1.201	1.201	1.203	1.203	1.203	1.204	1.204	1.205	1.206	1.206
100	1.207	1.207	1.207	1.208	1.208	1.208	1.209	1.209	1.209	1.210

Parameter yang dibutuhkan dalam menentukan nilai S_n adalah jumlah data (N) curah hujan maksimum tahunan yang dimiliki. Apabila menggunakan data permissalan untuk 10 tahun, maka yang digunakan adalah nilai N secara vertikal pada angka 10 dan nilai N secara horizontal pada angka 0, didapatkan hasil S_n dengan $N=10$ tahun sebesar 0,950. Sedangkan, Y_{tr} = Nilai reduksi varian dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu. Nilai Y_{tr} dihitung dengan persamaan:

$$Y_{tr} = \ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{Tr}\right)\right) < Tr(20) < Y = \ln(T) \quad (2.13)$$

Dimana:

T = Periode ulang Y

N = Nilai rata-rata reduksi dari *variant* (*mean of reduced variable*)
nilainya tergantung dari jumlah data (n)

Nilai Y_{tr} dapat diketahui pula berdasarkan hubungan antara periode ulang (Tr) dan *reduced variate* (Y_{tr}) seperti pada Tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2.6 *Reduced Variate, Y_{tr} Sebagai Fungsi Periode Ulang* (Suripin, 2004)

Periode ulang, Tr (tahun)	<i>Reduced variate,</i> Y_{tr}	Periode ulang, Tr (tahun)	<i>Reduced variate,</i> Y_{tr}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,2510	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	100000	9,2121

Tabel 2.6 menunjukkan nilai Y_{tr} , parameter yang dibutuhkan dalam menentukan nilai Y_{tr} adalah periode ulang tahunan (Tr) yang akan digunakan.

2.1.2. Uji Kecocokan

Perhitungan yang telah dilakukan dalam analisis hujan rencana kemudian akan dilakukan uji kecocokan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kecocokan fungsi distribusi peluang yang ditaksir dengan distribusi frekuensi sampel data yang dijadikan parameter. Pengujian akan dilakukan dalam dua tahap, yaitu menggunakan persamaan *Chi-Kuadrat* dan *Smirnov-Kolmogrov* (Suripin, 2004).

a. Metode *Chi-Kuadrat*

Metode *chi-kuadrat* dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi statistik sampel data yang digunakan dalam analisis telah menggunakan persamaan distribusi yang sesuai. Parameter χ^2 adalah parameter *chi-kuadrat* terhitung yang dijadikan sebagai parameter dalam penentuan besar penyimpangan yang terjadi

antara nilai teoritis dan nilai yang hitung. Metode *chi-kuadrat* dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.14)$$

Dimana:

χ^2 = Parameter *chi-kuadrat* terhitung

\sum = Jumlah sub-kelompok

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i

Perhitungan hasil dari persamaan 2.14 akan menghasilkan variabel acak sehingga dapat digunakan tabel *chi-kuadrat* untuk nilai *chi-kuadrat* sebenarnya pada Tabel 2.7 sebagai berikut:

Tabel 2.7 Nilai Kritis untuk Distribusi *Chi-Kuadrat* (Suripin, 2004)

<i>Dk</i>	α derajat kepercayaan							
	0.995	0.990	0.975	0.950	0.050	0.025	0.01	0.005
1	0.000	0.000	0.001	0.004	3.841	5.024	6.634	7.879
2	0.010	0.020	0.051	0.103	5.991	7.378	9.210	10.596
3	0.072	0.115	0.216	0.352	7.815	9.348	11.344	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	9.488	11.143	13.276	12.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	11.070	12.833	15.086	16.749
6	0.676	0.872	1.237	1.635	12.592	12.449	16.811	18.547
7	0.989	1.239	1.690	2.167	12.067	16.013	18.475	20.277
8	1.344	1.646	2.180	2.733	15.507	17.535	20.090	21.954
9	1.735	2.088	2.700	3.325	16.919	19.023	21.665	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	19.675	21.920	22.724	26.756
12	3.074	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.216	28.299
13	3.565	4.107	5.009	5.892	22.362	22.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	22.996	27.488	30.577	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	31.999	32.267

<i>Dk</i>	α derajat kepercayaan							
	0.995	0.990	0.975	0.950	0.050	0.025	0.01	0.005
17	5.697	6.408	7.564	8.672	27.587	30.191	33.408	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	28.869	31.526	32.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	30.144	32.852	36.190	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	31.410	32.170	37.566	39.996
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	42.795
23	9.260	10.196	11.689	13.091	36.172	38.076	41.638	42.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	36.415	39.364	42.979	45.558
25	10.520	11.524	13.120	12.611	37.652	40.646	42.314	46.928
26	11.160	12.198	13.844	15.379	38.885	41.923	45.641	48.290
27	11.808	12.879	12.573	16.151	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	41.337	42.461	48.278	50.993
29	13.121	12.256	16.047	17.708	42.557	45.722	49.587	52.336
30	13.787	12.953	16.791	18.493	43.773	46.979	50.892	53.672

Tabel 2.7 menunjukkan nilai kritis distribusi sesuai dengan derajat kebebasan yang digunakan. Derajat kebebasan (*Dk*) dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Dk = G - R - 1 \tag{2.15}$$

Dimana:

Dk = Derajat kebebasan

G = Jumlah seluruh subkelompok

R = Nilai untuk metode distribusi normal dan binomial, *R* = 2

Luaran dari hasil uji ini adalah:

1. Apabila peluang lebih dari 5% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
2. Apabila peluang lebih kecil dari 1% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.
3. Apabila peluang lebih kecil dari 1%-5% maka tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu data tambahan.

b. Metode *Smirnov-Kolmogorov*

Metode ini biasa disebut juga dengan uji kecocokan non parametrik karena fungsi distribusi tertentu tidak digunakan dalam pengujian. Langkah-langkah pengujian dilakukan dengan persamaan:

$$D = \text{Maksimum } (P(X_m) - P'(X_m)) \quad (2.16)$$

Dengan:

$$P(X) = \frac{m}{n+1} \quad (2.17)$$

$$f(t) = \frac{X - X_{rt}}{S} \quad (2.18)$$

$$P(X) = f(t) = 1 - t \quad (2.19)$$

Nilai maksimum D yang diterima dapat dilihat pada Tabel 2.8 sebagai berikut:

Tabel 2.8 Nilai D_{kritis} (Bonnier (1980) dalam Suripin, 2004)

N	Derajat kepercayaan, α			
	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	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
$N > 50$	$1,07/N^{0,5}$	$1,22/N^{0,5}$	$1,36/N^{0,5}$	$1,63/N^{0,5}$

Pada Tabel 2.8 menunjukkan nilai D_{kritis} pada variasi jumlah tahun dan derajat kepercayaan. Suatu distribusi dikatakan selaras jika pada pengujian dengan metode ini nilai $D_{hitung} < D_{kritis}$.

2.1.3. Periode Ulang Hujan

Periode ulang pada curah hujan dikategorikan sesuai dengan jenis daerah pada kawasan terbangun. Tabel nilai periode ulang hujan disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 2.9 Nilai Periode Ulang Hujan (Wesli, 2008 dalam Irawan, 2020)

Daerah	Periode Ulang (Tahun)
Permukiman	5-15
Pusat pemerintahan yang penting, daerah komersial, dan daerah padat dengan nilai ekonomi tinggi	10-50
Perencanaan gorong-gorong jalan raya dan lapangan terbang	3-15
Perencanaan pengendalian banjir pada sungai	23-50

Nilai periode ulang hujan juga dapat dikategorikan berdasarkan fungsi saluran. Berikut merupakan tabel nilai periode ulang berdasarkan fungsi saluran:

Tabel 2.10 Nilai Periode Ulang Hujan Berdasarkan Fungsi Saluran (Wesli, 2008 dalam Irawan, 2020)

Saluran	Periode Ulang (Tahun)
Kwarter	1
Tersier	2
Sekunder	5
Primer	10

Nilai periode ulang hujan yang disajikan dalam Tabel 2.9 dan Tabel 2.10 selanjutnya akan digunakan untuk menentukan periode ulang yang digunakan dalam tahap analisis curah hujan rencana.

2.1.4. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran memiliki parameter nilai sesuai klasifikasi yang dipengaruhi oleh kondisi permukaan tanah, kemiringan medan, jenis tanah, lamanya hujan di daerah pengaliran. Koefisien pengaliran sesuai kondisi daerah aliran sungai (DAS) dapat dilihat pada Tabel 2.9 sebagai berikut:

Tabel 2.11 Angka Koefisien Pengaliran (Suripin, 2004)

	Tipe Daerah Aliran	Harga C
Business	Daerah kota lama	0,75 – 0,95
	Daerah pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan	Daerah “ <i>single family</i> ”	0,30 – 0,50
	“multi unit” terpisah-pisah	0,40 – 0,60
	“multi unit” tertutup	0,60 – 0,75
	“sub urban”	0,25 – 0,40
	Daerah rumah-rumah apartment	0,50 – 0,70
Industri	Daerah ringan	0,50 – 0,80
	Daerah berat	0,60 – 0,90
Perkerasan	Aspal dan Beton	0,70 – 0,95
	Batu bata, paving	0,50 – 0,70
Atap		0,75 – 0,95
Halaman, tanah berpasir	Datar, 2%	0,05 – 0,10
	Rata-rata 2-7%	0,10 – 0,15
	Curam, 7%	0,15 – 0,20
Halaman tanah berat	Datar, 2%	0,13 – 0,17
	Rata-rata 2-7%	0,18 – 0,22
	Curam, 7%	0,25 – 0,35
Halaman kereta api		0,10 – 0,35
Tempat taman bermain		0,20 – 0,35
Taman, perkuburan		0,10 – 0,25
Hutan	datar, 0-5%	0,10 – 0,40
	bergelombang, 5-10%	0,25 – 0,50
	berbukit, 10-30%	0,30 – 0,60

Tabel 2.11 menunjukkan angka koefisien pengaliran yang dapat digunakan pada kondisi yang sesuai dengan tipe-tipe daerah aliran. Nilai harga *C* dapat digunakan nilai minimum, nilai maksimum, atau nilai rata-rata dari rentang nilai harga *C* sesuai dengan kondisi daerah aliran. Jika dalam suatu kawasan terdapat kondisi daerah aliran yang beragam, maka digunakan nilai *C* campuran dengan persamaan sebagai berikut.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.20)$$

Dimana:

C_i = Koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i

A_i = Luas lahan dengan jenis penutup tanah i

n = Jumlah jenis penutup lahan

2.1.5. Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi merupakan estimasi waktu air hujan yang mengalir hingga titik tertentu di hilir saluran. Perhitungan waktu konsentrasi digunakan dalam menentukan intensitas curah hujan, sehingga perhitungan waktu konsentrasi ini dilakukan dengan menggunakan persamaan *Kirpich* (Suripin, 2004) sebagai berikut:

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times s} \right)^{0,385} \quad (2.21)$$

Dimana:

t_c = Waktu konsentrasi (*jam*)

L = Panjang saluran utama (*km*)

S = Kemiringan rata-rata saluran

Waktu konsentrasi juga dapat dihitung dengan membagi parameter waktu menjadi dua, yaitu waktu konsentrasi pada lahan (t_o) dan waktu konsentrasi pada saluran (t_f). waktu konsentrasi pada lahan adalah waktu untuk air hujan dapat mengalir hingga saluran terdekatnya dengan persamaan *Kerby* (Ockert, 2014) sebagai berikut:

$$t_o = 1,44 \times \left(nd \times \frac{L}{\sqrt{s}} \right)^{0,467} \quad (2.22)$$

Dimana:

L = Panjang limpasan aliran di atas permukaan lahan (*m*)

S = Kemiringan lahan

N_d = Koefisien hambatan, disajikan pada Tabel 2.12

Tabel 2.12 Harga Koefisien Hambatan (Pd.T-02-2006 Perencanaan Sistem Drainase Jalan)

Jenis Permukaan	n_d
Permukaan impervious dan licin	0,02
Tanah padat terbuka dan licin	0,10
Permukaan sedikit berumput, tanah dengan tanaman berjajar, tanah terbuka kekasaran sedang	0,20
Padang rumput	0,40
Lahan dengan pohon-pohon musim gugur	0,60
Lahan dengan pohon-pohon berdaun, hutan lebat, lahan berumput tebal	0,80

Tabel 2.12 menunjukkan harga koefisien hambatan yang dapat digunakan menyesuaikan jenis permukaan pada lokasi penelitian. Nilai harga n_d dapat digunakan untuk menghitung waktu konsentrasi yang nantinya akan digunakan pada tahapan analisis selanjutnya.

Waktu konsentrasi pada saluran (t_f) merupakan waktu yang dibutuhkan oleh air hujan dari mulai masuk saluran sampai menuju outlet atau titik kontrol yang telah ditentukan. Berikut merupakan persamaan yang biasa digunakan dalam perhitungan t_f .

$$t_f = \frac{L_s}{60v} \quad (2.23)$$

$$v = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (2.24)$$

Dimana:

n = Koefisien kekasaran *Manning*

S = Kemiringan lahan

L_s = Panjang lintasan aliran pada sungai atau saluran (m)

v = Kecepatan aliran di dalam saluran (m/det)

Berikut merupakan tabel koefisien kekasaran *Manning* yang sering digunakan.

Tabel 2.13 Harga Koefisien Kekasaran *Manning* (Suripin, 2004)

No	Tipe saluran dan jenis bahan	Harga <i>n</i>		
		Minimum	Normal	Maksimum
1	Beton			
	- Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
	- Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0,011	0,013	0,014
	- Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
2	- Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
	Tanah, lurus dan seragam			
	- Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	- Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	- Berkerikil	0,022	0,025	0,030
- Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033	
3	Saluran alam			
	- Bersih lurus	0,025	0,030	0,033
	- Bersih, berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	- Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,08
	- Dataran banjir berumput pendek tinggi	0,025	0,030	0,035
- Saluran di belukar	0,035	0,050	0,07	

Tabel di atas menunjukkan harga koefisien kekasaran *Manning* yang dapat digunakan menyesuaikan jenis permukaan pada lokasi penelitian. Nilai harga *n* dapat digunakan untuk menghitung kecepatan aliran dalam saluran yang nantinya akan digunakan pada tahapan analisis selanjutnya.

2.1.6. Intensitas Curah Hujan

Perhitungan intensitas curah hujan berdasarkan curah hujan harian dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan *Mononobe* (Suripin, 2004) sebagai berikut:

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

Dimana:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

T = Lamanya curah hujan (jam)

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

2.2. Banjir Rencana

Penentuan laju aliran puncak atau debit banjir berpacu pada ketersediaan data dilapangan (Suripin, 2004). Dalam merencanakan debit banjir, digunakan metode umum yakni metode rasional. Dalam metode rasional, rumus yang digunakan yaitu:

$$Q_t = \frac{C.I.A}{3.6} = 0,278C.I.A \quad (2.26)$$

$$T_c = \frac{L}{W} \quad (2.27)$$

$$W = 72 \times \left(\frac{H}{L}\right)^{0.6} \quad (2.28)$$

Dimana:

Q_t = Debit banjir maksimum (m^3/det)

C = Koefisien pengaliran

R = Intensitas hujan selama t jam (mm/jam)

A = Luas DAS sampai 100 km^2 (km^2)

T_c = Waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang sungai (km)

H = Beda tinggi (km)

W = Kecepatan perambatan banjir (km/jam)

2.3. Zero Delta Q Policy

Zero delta Q Policy merupakan suatu kebijakan yang terdapat pada Peraturan Pemerintah No.26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional. Prinsip tersebut tertuang pada pasal 99 ayat 3a yang menyebutkan tentang “*Zero Delta Q Policy*” yaitu keharusan agar tiap bangunan tidak boleh mengakibatkan bertambahnya debit air ke sistem saluran drainase atau sistem

aliran sungai. Penerapan prinsip tersebut dilakukan agar debit limpasan yang dihasilkan dari kawasan yang mengalami pengalihan fungsi lahan dari lahan terbuka menjadi kawasan terbangun tidak langsung mengalir ke saluran drainase perkotaan. Debit limpasan akibat pengalihan fungsi lahan harus ditahan sehingga besar penambahan debit yang dihasilkan adalah nol. Hal ini diupayakan dengan membuat 3 komponen utama, yaitu:

1. Sistem penampungan air hujan (SPAH) atau *Rain Water Harvesting* (RWH) yang akan digunakan sebagai sumber air bersih.
2. Kolam resapan.
3. Sumur resapan.

2.4. Pemanenan Air Hujan (*Rain Water Harvesting*)

Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 tahun 2009 pasal 1 ayat 1: Pemanfaatan air hujan adalah serangkaian kegiatan mengumpulkan, menggunakan, dan/atau meresapkan air hujan ke dalam tanah. Sedangkan pada pasal 3 disebutkan, kolam pengumpul air hujan adalah kolam atau wadah yang dipergunakan untuk menampung air hujan yang jatuh di atap bangunan (rumah, gedung perkantoran atau industri) yang disalurkan melalui talang. Panen air hujan adalah akumulasi dan pengendapan air hujan untuk digunakan kembali, sehingga mengurangi air limpasan (*run off*). Penggunaan meliputi untuk menyiram tanaman, air untuk ternak, air untuk irigasi, dan air untuk keperluan rumah tangga.

Teknik memanen air hujan (*Rain Water Harvesting*) adalah salah satu upaya yang efisien dalam menyediakan air bagi masyarakat di daerah-daerah yang mengalami kekeringan sekaligus mengurangi banjir di daerah-daerah yang biasa mengalami kebanjiran. Teknik panen air hujan dengan atap merupakan salah satu bentuk upaya penyediaan air bersih yang sangat baik, mudah, dan relatif murah dalam pembuatannya (Baitullah Al Amin, dkk., 2010).

Undang-Undang RI No.7 tahun 2004 tentang sumber daya air pasal 22 ayat 1 dan 2 menyebutkan perlunya pengawetan air yang bertujuan untuk memelihara keberadaan dan ketersediaan air. Salah satu cara pengawetan air adalah menyimpan air yang berlebihan disaat hujan untuk dapat dimanfaatkan

pada waktu diperlukan. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 8 tahun 2010 tentang Kriteria dan Sertifikasi Bangunan Ramah Lingkungan, pada Bab II pasal 4b ayat 3 disebutkan, bangunan dikategorikan bangunan ramah lingkungan apabila memenuhi kriteria salah satunya mempunyai sistem pemanfaatan air hujan. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 tahun 2009 tentang pemanfaatan air hujan, sebagai pedoman bagi pemerintah Kabupaten/Kota dalam pemanfaatan air hujan untuk mengurangi genangan air atau banjir serta mempertahankan kualitas dan meningkatkan kuantitas air tanah. Pemanfaatan air hujan dapat dilakukan dengan cara membuat kolam pengumpul air hujan, sumur resapan, dan lubang resapan biopori.

Salah satu cara pemanenan air hujan adalah dengan memanfaatkan atap rumah dimana air hujan yang jatuh di atas atap dikumpulkan dan ditampung ke tangki atau bak penampung air hujan. Air hujan pada talang setelah melalui proses penyaringan air akan masuk ke dalam tangki kemudian dialirkan melalui pipa. Selanjutnya, dengan atau tanpa menggunakan pompa, air hujan di dalam tangki dapat dimanfaatkan untuk menyiram tanaman, mengepel lantai, menyiram toilet atau mencuci kendaraan. Selain ramah lingkungan, pemanenan air hujan dapat menjadi jalan keluar serta penanggulangan banjir dan kekeringan. Selama musim hujan yang pendek, air dipanen sebanyak-banyaknya demi cadangan air di musim kering. Berikut beberapa metode pemanenan air hujan yang dapat dikembangkan di Indonesia, baik pemanenan air hujan yang langsung bisa dimanfaatkan untuk pemenuhan kebutuhan air bersih rumah tangga maupun untuk mengisi air tanah (Maryono dan Santoso, 2006).

1. Metode pemanenan air hujan dengan kolam atau bak tendon air rumah tangga.
2. Metode pemanenan air hujan dengan kolam dan sumur resapan.
3. Metode pemanenan air hujan dengan rorak.
4. Metode pemanenan air hujan dengan revitalisasi danau, telaga, dan situ.
5. Metode pemanenan air hujan dengan mengembangkan daerah perlindungan air tanah.
6. Metode pemanenan air hujan dengan mempeertahankan hutan.

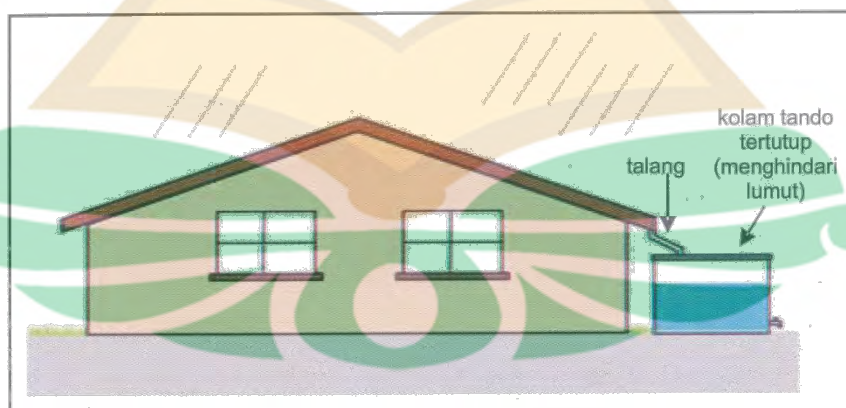
2.5. Pemanenan Air Hujan dari Atap

Salah satu teknik pemanenan air hujan yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga yaitu dengan memanfaatkan atap rumah dimana hujan yang jatuh di atas atap akan dikumpulkan dan ditampung ke bak penampungan air hujan (PAH). Sistem penampungan air hujan umumnya terdiri dari beberapa komponen yaitu tempat menangkap air hujan (*collection area*), saluran air hujan yang mengalirkan air hujan dari tempat menangkap hujan ke tangki penyimpanan (*conveyance*), filter, reservoir (*storage tank*), saluran pembuangan, dan pompa (Abdulla et al., 2009; Song et al). Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan ketika memilih sistem pemanenan air hujan melalui atap untuk keperluan rumah tangga meliputi:

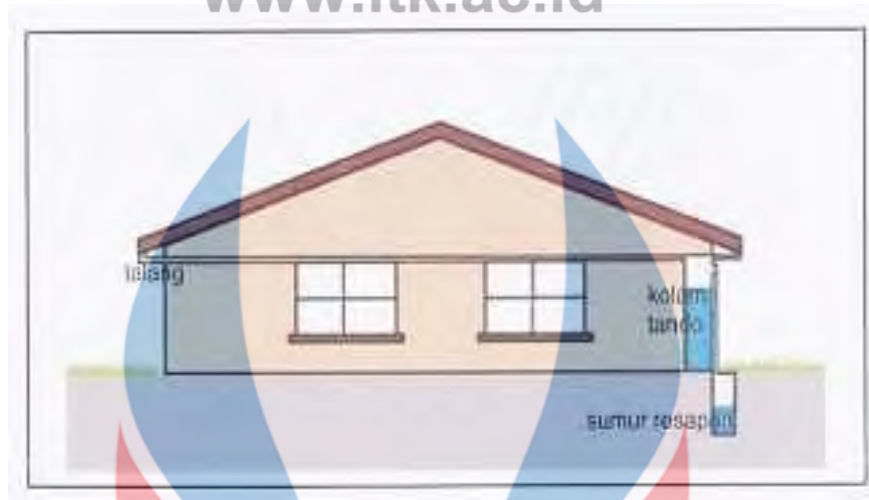
1. Jenis dan ukuran daerah penangkap hujan.
2. Data curah hujan lokal dan pola cuaca.
3. Ukuran keluarga.
4. Panjang periode kekeringan.
5. Sumber air alternatif.
6. Biaya yang tersedia untuk membangun sistem pemanenan air hujan.

Sistem pemanenan air hujan umumnya terdiri dari empat elemen dasar yaitu:

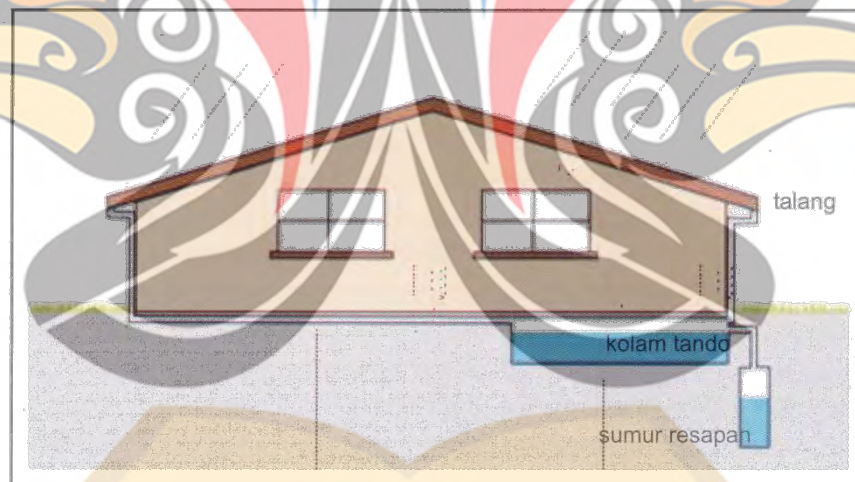
1. Area pengumpul air hujan (*catchment area*).
2. Sistem pengangkut yang terdiri dari pipa dan talang (*conveyance system*).
3. Fasilitas penyimpanan atau bak penampung air hujan (*cistern*).
4. Sistem pengiriman yang terdiri atas kran dan pompa air.



Gambar 2.1 Sketsa Kolam Pengumpul Air Hujan di Atas Tanah



Gambar 2.2 Sketsa Kolam Pengumpul Air Hujan Vertikal
(Maryono dan Santoso, 2006)



Gambar 2.3 Sketsa Kolam Tampungan di Bawah Rumah dan Sumur Resapan
(Maryono dan Santoso, 2006)

Menurut Maryono (2017) dalam Aryanto, D., (2017), jumlah air hujan yang dapat dipanen dirumuskan sebagai berikut:

$$\Sigma Q = a \times R_{24} \times A \quad (2.29)$$

Dimana:

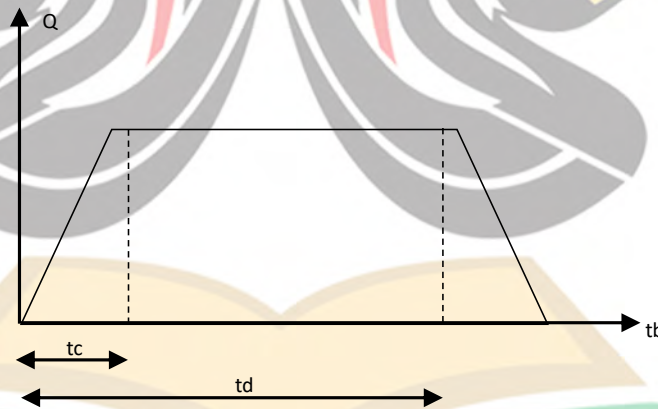
ΣQ = Jumlah air yang dapat dipanen (*liter/hari*)

- a = Koefisien *run off* (0,8)
 R_{24} = Rata-rata curah hujan harian maksimum (mm/hari)
 A = Luas atap bangunan (m^2)

2.6. Kolam Tampung

A. Perencanaan Kolam Tampung

Kolam tampung adalah prasarana drainase yang berfungsi untuk menampung sementara air hujan di suatu wilayah (Permen PU No.12 Tahun 2014). Kolam tampung dapat digunakan sebagai sistem pengendalian debit banjir yang akan mengalir ke saluran drainase perkotaan, dengan cara menampung sementara debit limpasan tersebut dalam tenggang waktu tertentu. Upaya mengurangi debit limpasan pada suatu sistem drainase dilakukan untuk mengimplementasikan prinsip *Zero Delta Q Policy*. Parameter yang mempengaruhi prinsip *Zero Delta Q Policy* dengan kolam tampung adalah debit limpasan (Q), waktu konsentrasi (t_c) dan intensitas hujan (I) yang kemudian dibuat dalam bentuk hidrograf seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.4 Skematif Unit Hidrograf (Departemen PU, 2008)

Berdasarkan Pedoman Perencanaan Drainase Jalan (2006) oleh Departemen Pekerjaan Umum, langkah-langkah dalam merencanakan tampungan air sementara adalah sebagai berikut:

1. Hitung waktu pengaliran (t_c) dan durasi hujan efektif (t_d).

$$t_d = \frac{0,9 \times R_{24}^{0,92}}{60} \quad (2.30)$$

Dimana:

R_{24} = Curah hujan periode ulang (*mm*)

2. Hitung debit puncak banjir yang masuk.
3. Hitung volume kumulatif dan selang waktu sebesar t menit.
4. Asumsikan debit yang keluar dari gorong-gorong atau kapasitas saluran di hilir gorong-gorong konstan.
5. Buat hidrograf kolam tampung dan hitung volume air kumulatif dengan selang waktu t menit.
6. Hitung volume kumulatif.

$$Q \text{ inflow} = \frac{t_n}{t_c} \times Q \quad (2.31)$$

$$\text{Vol. inflow} = \frac{1}{2} \times (t_n - t_{(n-1)}) \times (Q_{\text{inflow}_n} + Q_{\text{inflow}_{(n-1)}}) \quad (2.32)$$

$$\text{Vol. Kum.} = \text{volume inflow}_n + \text{volume kumulatif}_{(n-1)} \quad (2.33)$$

$$\text{Kedalaman} = \frac{\text{volumekomulatif}}{\text{luas}} \quad (2.34)$$

Dimana:

t_n = Waktu ke- n pada waktu konsentrasi

t_c = Waktu konsentrasi

Q = Debit hidrologi

7. Jika kolam dianggap segi empat, luas kolam diperoleh dari volume air yang ditampung dalam kolam dibagi dengan tinggi air maksimum yang diizinkan.

Kolam tampung digunakan untuk melindungi daerah bagian hilir saluran dari kerusakan yang disebabkan karena kondisi saluran sebelah hilir tidak mampu menampung debit dari saluran sebelah hulu, kelebihan debit tersebut ditampung dalam kolam tampung. Berdasarkan hal tersebut, maka tahapan perencanaan struktur kolam tampung tergantung dari lokasi perencanaan. Untuk merencanakan pembangunan kolam tampung diperlukan analisis hidrologi untuk menentukan besarnya debit banjir rencana akan berpengaruh terhadap besarnya debit

maksimum maupun kestabilan konstruksi yang akan dibangun. Kemudian diperlukan data curah hujan untuk rancangan pemanfaatan air dan rancangan bangunan air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu (Sosrodarsono, 1993). Selain data tersebut, debit air kotor juga perlu direncanakan untuk memastikan jumlah air yang masuk ke dalam kolam detensi yang akan dibangun.

B. Perencanaan Pintu Air

Parameter yang digunakan dalam perencanaan pintu air pada kolam tampung adalah koefisien debit (Cd), lebar pintu (B), tinggi lubang pintu (a), dan selisih tinggi air pada hulu dan hilir pintu (H). Berikut merupakan persamaan dalam perencanaan pintu air berdasarkan Permen PU Nomor 12 Tahun 2014.

$$Q = Cd \times b \times a \times \sqrt{2gH} \quad (2.35)$$

Dimana:

Q = Debit pintu (m^3/det)

Cd = Koefisien debit 0,62

B = Lebar pintu (m)

A = Tinggi lubang pintu (m)

H = Selisih tinggi air pada hulu dan hilir pintu (m)

Pengelompokkan pintu air berdasarkan dimensi pintu air telah diuraikan dalam Kriteria Perencanaan Irigasi (KP-08) yang disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2.14 Tipe Pintu untuk Standarisasi (Kp-08.2010)

No	Tipe	Uraian
1	Pintu boks tersier dan kuarter sederhana, lebar	Lebar 0,5 m
2	Pintu sorong	Lebar 0,4 m sampai 0,6 m; tinggi < 0,8 m
3	Pintu sorong	Lebar 0,6 m sampai 0,8 m; tinggi < 1,0 m
4	Pintu sorong	Lebar 0,8 m sampai 1,0 m; tinggi < 1,5 m
5	Pintu sorong	Lebar 1,0 m sampai 1,2 m; tinggi < 2,0 m

Standarisasi dari dimensi pintu air berdasarkan tabel di atas akan digunakan sebagai acuan dalam merencanakan pintu air pada kolam tampung.

C. Penelusuran Banjir (*Flood Routing*)

Penelusuran banjir merupakan metode yang digunakan untuk menentukan besarnya banjir yang terjadi pada titik pengamatan atau titik kontrol yang telah ditetapkan. Dasar dalam pertimbangan penelusuran banjir adalah jika debit sungai meningkat, maka elevasi atau tinggi muka air juga akan meningkat (Dr. Ir. Drs. Nugroho Hadisusanto, Dipl. H). Secara umum persamaan kontinuitas dalam analisis penelusuran banjir adalah sebagai berikut.

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (2.36)$$

Dimana:

I = *Inflow* (aliran masuk) ke ruas sungai (m_3/det)

O = *Outflow* (aliran keluar) dari ruas sungai (m_3/det)

dS = Perubahan tampungan di ruas sungai (m^3)

dt = Interval waktu penelusuran (dalam satuan waktu)

2.7. Penelitian Terdahulu

Acuan dalam tugas akhir ini adalah beberapa penelitian terdahulu dalam bidang yang sama untuk dijadikan sebagai referensi dalam penyelesaian tugas akhir. Berikut merupakan beberapa tema maupun judul yang terkait dengan tugas akhir.

Tabel 2.15 Penelitian Terdahulu (Penulis, 2021)

No	Penulis	Judul	Hasil
1.	Endah Lestari (2016)	Penerapan Konsep <i>Zero Run Off</i> dalam Mengurangi Volume Limpasan Permukaan (Perumahan Puri Bali, Depok)	1. Dari hasil analisa perhitungan dapat dinyatakan bahwa penerapan konsep <i>Zero Run Off</i> yaitu berupa teknologi Pengumpul Air Hujan, Sumur Resapan Air Hujan dan Taman Hujan dapat mereduksi limpasan permukaan (<i>surface run off</i>) yang ditimbulkan oleh air hujan sebesar 96,6% dari total debit perhitungan lahan di Perumahan Taman Sari Puri Bali. Sedangkan sebesar 3,4% teralirkan ke saluran drainase lingkungan. 2. Teknologi konsep <i>Zero Run Off</i> yang dapat diterapkan pada penelitian ini adalah: Kolam

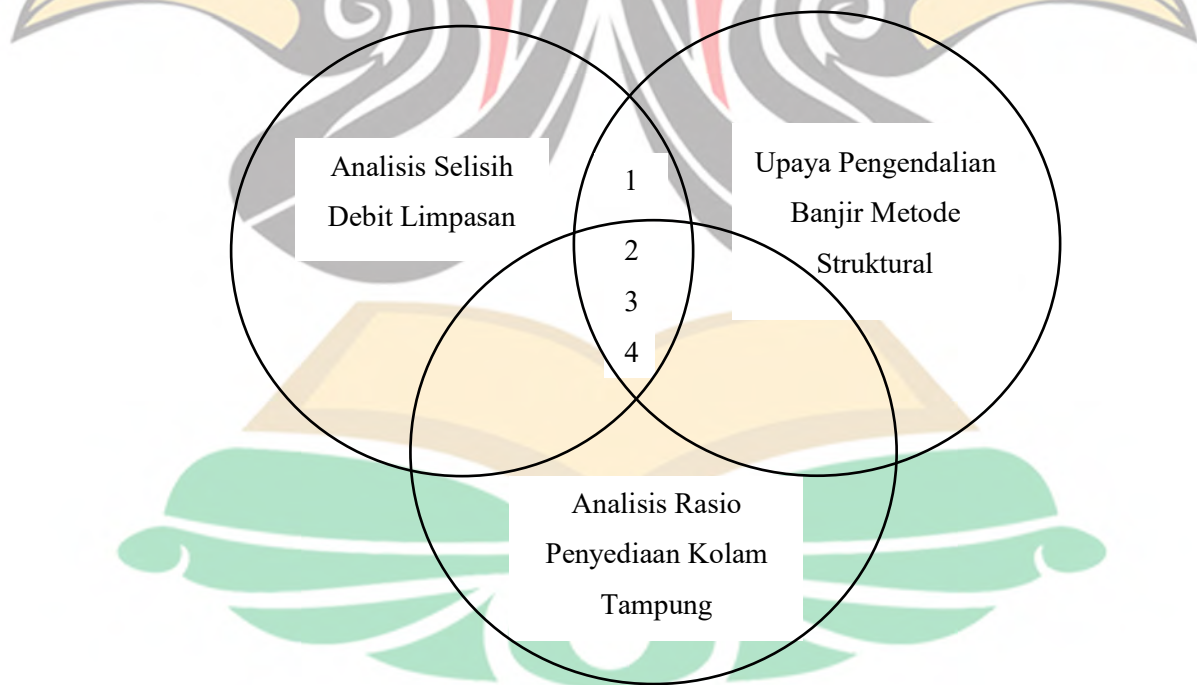
No	Penulis	Judul	Hasil
			<p>Pengumpul Air Hujan (PAH), Parit Resapan Air Hujan, Cekungan Bervegetasi, Kolam Konservasi, dan Areal Peresapan Air Hujan.</p> <p>3. Teknologi konsep <i>Zero Run Off</i> yang berupa Kolam Pengumpul Air Hujan (PAH) dan Kolam Konservasi dapat mengatasi kekurangan akan air bersih pada saat musim kemarau. Dengan pengolahan yang sesuai, maka air hujan yang ditampung dapat digunakan langsung oleh penghuni untuk keperluan rumah tangga bahkan kebutuhan air bersih untuk dikonsumsi sehari-hari.</p> <p>4. Menghadapi perubahan iklim, banjir, kekeringan, kekurangan air bersih dan kerusakan lingkungan baik fisik maupun hayati, salah satu caranya adalah dengan seoptimal mungkin memanfaatkan teknologi konsep <i>Zero Run Off</i> dengan cara menampung dan meresapkan air hujan ke dalam tanah.</p>
2.	Besse Nadia Irawan (2020)	Analisis Rasio Luasan Kolam Tampungan Terhadap Luasan Daerah Terbangun Dalam Upaya Pengendalian Banjir (Studi Kasus Perumahan Wilayah Drainase Selatan Kota Balikpapan)	<p>1. Debit limpasan yang dihasilkan saat kondisi kawasan belum terbangun (Q_{awal}) pada perumahan Jamrud <i>Residence</i> sebesar $0,348 \text{ m}^3/\text{detik}$, perumahan Neo Batakan Permai sebesar $4,4017 \text{ m}^3/\text{detik}$, dan perumahan GBR 6 sebesar $0,4077 \text{ m}^3/\text{detik}$.</p> <p>2. Debit limpasan yang dihasilkan saat kondisi kawasan telah terbangun ($Q_{terbangun}$) pada perumahan Jamrud <i>Residence</i> sebesar $1,0043 \text{ m}^3/\text{detik}$, perumahan Neo Batakan Permai sebesar $15,0329 \text{ m}^3/\text{detik}$, dan perumahan GBR 6 sebesar $0,9166 \text{ m}^3/\text{detik}$.</p> <p>3. Analisis implementasi prinsip <i>Zero Delta Q Policy</i> menghasilkan rasio luasan kolam detensi yang dibutuhkan pada</p>

No	Penulis	Judul	Hasil
			perumahan Jamrud <i>Residence</i> sebesar 8,267%, perumahan perumaha Neo Batakan Permai sebesar 9,891%, dan perumahan GBR 6 sebesar 10,256% dari luas kawasan perumahan. Luasan kolam tampung sesuai dengan rasio pada masing-masing perumahan memiliki permodelan regresi linier yaitu $Y = (0,0994 \times X_i) - 228,48$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9998 ≈ 1 sehingga dapat dikatakan penggunaan persamaan regresi linier sederhana semakin akurat untuk digunakan.
3.	BAPPEDA-LITBANG Balikpapan dan LPPM ITK (2020)	Kajian Rasio Penyediaan Bendali Mandiri Berdasarkan Proporsi Tapak Perumahan di Kota Balikpapan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perubahan tata guna lahan di Kota Balikpapan khususnya pada DAS Ampal, Klandasan Kecil, dan Sepinggian menunjukkan adanya tren koefisien pengaliran yang semakin meningkat dari tahun 2014 hingga tahun 2032 dengan nilai rata-rata peningkatan sebesar 27,7% pada perumahan formal/developer dan 37,2% pada perumahan nonformal/swadaya akibat peningkatan kawasan terbangun. 2. Terdapat 39 perumahan di DAS Ampal dengan nilai rata-rata rasio kebutuhan luas penyediaan kolam detensi pada tahun 2020 sebesar 5,3% dan meningkat pada tahun 2032 menjadi 5,9% dari total luas tapak perumahan jika menggunakan dimensi kedalaman kolam detensi sebesar 3 meter. 3. Terdapat 18 perumahan di DAS Sepinggian dengan nilai rata-rata rasio kebutuhan luas penyediaan kolam detensi pada tahun 2020 sebesar 4,4% kemudian meningkat pada tahun 2032 menjadi 5,1% dari total luas tapak perumahan jika menggunakan dimensi kedalaman kolam detensi sebesar 3 meter.

Tabel di atas menunjukkan penelitian terdahulu yang sesuai untuk dijadikan referensi dalam penyelesaian tugas akhir ini. Referensi yang dapat dijadikan acuan adalah persamaan metode yang digunakan dalam mengatasi dan mengantisipasi kondisi yang sama yaitu mengurangi debit limpasan yang dihasilkan dari pembangunan perumahan. Metode yang digunakan adalah kebijakan *Zero Deta Q Policy* dan kajian struktural dalam upaya pengendalian banjir. Berdasarkan tabel di atas, didapatkan hasil atau luaran berupa penerapan kebijakan *Zero Deta Q Policy* dan kajian struktural pada penelitian Endah Lestari (2016) dan penelitian Besse Nadia Irawan (2020), dan rasio penyediaan kolam tampung berdasarkan proporsi tapak perumahan pada penelitian kerja sama antara BAPPEDA-LITBANG Balikpapan dan LPPM ITK.

2.8. Posisi Penelitian

Berdasarkan hasil studi literatur terdahulu, terdapat beberapa perbedaan dan persamaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang sedang dilakukan. Secara umum posisi penelitian ditunjukkan oleh Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Diagram Posisi Penelitian (Penulis, 2021)

Berdasarkan diagram di atas, posisi penelitian yang dilakukan sama dengan penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Endah Lestari (2016), Besse Nadia Irawan (2020) dan BAPPEDA-LITBANG Balikpapan dengan LPPM ITK (2020). Penelitian yang dilakukan berupa implementasi *Zero Delta Q Policy* dan upaya pengendalian banjir metode struktural. Hal yang membedakan yaitu kondisi wilayah yang meliputi luas area, topografi, tata guna lahan, dan lokasi kawasan tinjauan. Posisi penelitian yang dilakukan oleh penulis juga ditunjukkan oleh Tabel berikut.

Tabel 2.16 Posisi Penelitian (Penulis, 2021)

No	Sumber Penelitian	Analisis Hidrologi	Analisis Selisih Debit Limpasan	Perencanaan Metode Struktural (Kolam Tampung)	Perencanaan Metode Struktural (<i>Rain Water Harvesting</i>)	Analisis Rasio Penyediaan Kolam Tampung
1	Endah Lestari (2016)	✓	✓	✓	✓	-
2	Besse Nadia Irawan (2020)	✓	✓	✓	-	✓
3	BAPPEDA-LITBANG Balikpapan dan LPPM ITK (2020)	✓	✓	✓	-	✓
4	Penulis (2021)	✓	✓	✓	✓	✓

Berdasarkan tabel di atas, penelitian yang telah dilakukan oleh Endah Lestari (2016), Besse Nadia Irawan (2020) dan BAPPEDA-LITBANG Balikpapan dengan LPPM ITK (2020) melalui tahap analisis hidrologi, analisis selisih debit limpasan (*Zero Delta Q Policy*), dan perencanaan metode struktural berupa kolam tampung. Metode-metode yang telah dilakukan oleh penelitian terdahulu di atas menghasilkan luaran-luaran seperti yang diharapkan oleh penulis dalam penelitian tugas akhir, sehingga metode-metode tersebut kemudian diadopsi oleh penulis dalam melakukan tahapan-tahapan analisis. Pada penelitian ini penulis tidak hanya menggunakan kolam tampung sebagai upaya pengendalian banjir metode struktural. Penulis menambahkan inovasi metode struktural lainnya

berupa *Rain Water Harvesting* sebagai bentuk implementasi kebijakan *Zero Delta Q Policy Policy*. www.itk.ac.id



www.itk.ac.id