

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Landasan Teori

Penelitian terdahulu yang membahas analisis limpasan air hujan telah dilakukan di beberapa wilayah, terutama dengan metode rasional, *haspers* dan *melchior*. Adapun beberapa penelitian tersebut sebagai berikut:

Penelitian dari (Tia Febrianti et al., 2022) dengan judul “Analisis Curah Hujan dalam Menentukan Debit Banjir Rencana pada Daerah Aliran Sungai Cisadane Menggunakan Metode Rasional”. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui besar curah hujan dan debit banjir rencana dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun dengan metode rasional. Berdasarkan hasil perhitungan curah hujan dan debit banjir maka diperoleh kesimpulan curah hujan rencana dengan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun adalah sebesar 89,96 mm, 114,49 mm, 130,94 mm, 152,01 mm, 167,96 mm dan 184,20 mm dan debit banjir rencana dengan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun sebesar 155,72 m<sup>3</sup>/detik, 198,02 m<sup>3</sup>/detik, 226,53 m<sup>3</sup>/detik, 262,98 m<sup>3</sup>/detik, 290,43 m<sup>3</sup>/detik dan 318 m<sup>3</sup>/detik.

Selain itu penelitian dari (Maulinda et al., 2022) dengan judul “Analisis Debit Banjir Dengan Menggunakan Metode *Haspers* dan *Melchior* Pada DAS Sungai Krueng Tripa”. Tujuan penelitian ini dilakukan adalah untuk memberikan gambaran besaran debit banjir rencana untuk kala ulang tertentu di Sungai Krueng Tripa dari data curah hujan dengan menggunakan metode *Haspers* dan *Melchior*. Dari hasil perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode *Haspers* didapat debit banjir rencana untuk periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun adalah sebesar 2718,03 m<sup>3</sup>/detik, 3694,15 m<sup>3</sup>/detik, 4361,43 m<sup>3</sup>/detik, 5227,56 m<sup>3</sup>/detik, 5888,21 m<sup>3</sup>/detik dan 6565,35 m<sup>3</sup>/detik. Dari metode *Melchior* didapat debit banjir rencana untuk periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun adalah sebesar 936,79 m<sup>3</sup>/detik, 1273,23

m<sup>3</sup>/detik, 1503,21 m<sup>3</sup>/detik, 1801,73 m<sup>3</sup>/detik, 2029,43 m<sup>3</sup>/detik dan 2262,81 m<sup>3</sup>/detik. Dari hasil perhitungan didapat debit banjir rencana metode *Haspers* lebih besar dari pada debit banjir rencana metode *Melchior*.

Serta penelitian dari (Uaity Ulahi Rabih et al., 2020) yang berjudul “Analisis Perhitungan Debit Puncak Banjir Rancangan Dengan Metode *Der Weduwen*, *Melchior*, *Haspers*, dan *Nakayasu* terhadap Debit Banjir Observasi pada DAS Sidutan”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besar debit banjir rancangan pada DAS Sidutan menggunakan metode *Der Weduwen*, *Melchior*, *Haspers*, *Nakayasu*, dan hasil pengukuran, serta membandingkan keempat metode tersebut untuk menentukan metode mana yang paling mendekati hasil pengukuran. Hasil perhitungan debit banjir rancangan untuk kala ulang 100 tahun menunjukkan bahwa metode *Der Weduwen* 570,619 m<sup>3</sup>/detik, *Melchior* 416,776 m<sup>3</sup>/detik, *Haspers* 620,667 m<sup>3</sup>/detik, dan *Nakayasu* 102,165 m<sup>3</sup>/detik. Namun metode *Nakayasu* paling mendekati debit banjir rancangan hasil analisis frekuensi data pengukuran 135,321 m<sup>3</sup>/detik.

## **B. Limpasan Air Permukaan**

### **1. Pengertian Limpasan Air**

Air larian atau limpasan air permukaan (*run-off*) adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju ke sungai, danau, dan lautan. Bagian yang penting dari limpasan air permukaan yang erat kaitannya dengan rancang bangunan pengendali limpasan air adalah besarnya debit puncak (*peak flow*) dan waktu tercapainya debit puncak, volume dan penyebaran limpasan air permukaan (Yuswandi & Wardhani, 2024). Air hujan yang jatuh ke permukaan tanah ada yang langsung masuk ke dalam tanah atau disebut air infiltrasi dan sebagian lagi tidak sempat masuk ke dalam tanah menyebabkan air mengalir di atas permukaan tanah ke tempat yang lebih rendah. Ada juga bagian air hujan yang telah masuk ke dalam tanah, terutama pada tanah yang hampir atau telah jenuh, lalu air tersebut ke luar ke permukaan tanah lagi dan mengalir ke bagian yang lebih rendah (Herwindo & Bumi, 2023). Sebelum air dapat

mengalir di atas permukaan tanah, curah hujan terlebih dahulu harus memenuhi keperluan air untuk evaporasi, intersepsi, infiltrasi, dan berbagai bentuk cekungan tanah dan bentuk penampungan air lainnya.

## 2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Limpasan Air Permukaan

Limpasan air permukaan dipengaruhi oleh faktor-faktor fisik, topografi, geologi, vegetasi, dan iklim yang saling berinteraksi dan memengaruhi jumlah air hujan yang mengalir ke saluran air atau sungai (Nuryanti, 2023)

### a. Elemen-elemen Meteorologi

Faktor meteorologi berperan penting dalam menentukan limpasan air permukaan dan siklus hidrologi. Beberapa faktor meteorologi yang berpengaruh terhadap limpasan air permukaan antara lain:

- 1) Jenis Presipitasi
- 2) Intensitas Curah Hujan
- 3) Lamanya Curah Hujan
- 4) Distribusi Curah Hujan dalam Daerah Pengaliran
- 5) Arah Pergerakan Curah Hujan
- 6) Curah Hujan Terdahulu dan Kelembaban Tanah
- 7) Kondisi-kondisi Meteorologi yang lain

### b. Elemen Daerah Pengaliran

- 1) Kondisi Penggunaan Tanah (*Landuse*)
- 2) Daerah Pengaliran
- 3) Kondisi Topografi dalam Daerah Pengaliran
- 4) Jenis Tanah
- 5) Faktor-faktor lain yang memberikan pengaruh

## C. Analisis Frekuensi

### 1. Curah Hujan Harian Maksimum Wilayah

#### a. Metode Aljabar (Metode *Arithmetic*)

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana, yaitu dengan mengambil nilai rata-rata hitung dari pengukuran hujan di pos

hujan di dalam area tersebut selama satu periode tertentu. Cara ini akan menghasilkan nilai rata-rata curah hujan yang baik, apabila daerah pengamatannya datar, penempatan alat ukur tersebar merata dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh area (Saputra et al., 2023).

Rumus:

$$X_i = \frac{1}{n} ( X_{i_1} + X_{i_2} + \dots + X_{i_n} ) \dots\dots\dots (2. 1)$$

b. Polygon *Thissen*

Metode ini sering digunakan pada analisis hidrologi karena metode ini lebih baik dan objektif dibanding dengan metode lainnya. Cara *polygon thissen* ini dipakai apabila daerah pengaruh dan curah hujan rata-rata tiap Stasiun berbeda-beda, dipakai stasiun hujan minimum 3 buah dan tersebar tidak merata. Cara ini memperhitungkan luas daerah yang mewakili dari pos-pos hujan yang bersangkutan, untuk digunakan sebagai faktor bobot dalam perhitungan curah hujan rata-rata.

Rumus:

$$X_i = \frac{A_1 X_{i_1} + A_2 X_{i_2} + \dots + A_n X_{i_n}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2. 2)$$

**2. Analisis Parameter Statistik**

Analisis statistik dalam penelitian ini melibatkan penggunaan beberapa persamaan matematika untuk menghitung dan menganalisis parameter-parameter statistik. Adapun rumus yang digunakan dalam analisis statistik ini adalah sebagai berikut:

a. Nilai Rata-Rata (*Mean*)

Rata-rata nilai (mean) merupakan hasil penjumlahan seluruh nilai data ( $X_i$ ) yang kemudian dibagi dengan jumlah data ( $n$ ), dan umumnya dilambangkan dengan symbol ( $\bar{X}$ ). Persamaan matematika nilai rata-rata untuk distribusi Gumbel dan Normal adalah:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots (2. 3)$$

Dimana:

- $\bar{X}$  = nilai rata-rata
- $X_i$  = nilai variasi ke-i
- $n$  = jumlah data

Persamaan untuk distribusi *Log Normal* dan *Log Pearson III*:

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_i^n \text{Log } X_i}{n} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

- $\text{Log } \bar{X}$  = nilai rata-rata
- $\text{Log } X_i$  = nilai variasi ke-i
- $n$  = jumlah data

b. Standar Deviasi

Untuk mengukur sebaran data terhadap rata-rata, digunakan ukuran dispersi yang disebut standar deviasi (Sd). Rumus standar deviasi untuk distribusi Normal dan *Gumbel* adalah:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

- Sd = standar deviasi
- $\bar{X}$  = nilai rata-rata
- $X_i$  = nilai variasi ke-i
- $n$  = jumlah data

Rumus untuk distribusi *Log Normal* dan *Log Pearson III*:

$$Sd_{\text{Log } \bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

- $Sd_{\text{Log } \bar{X}}$  = standar deviasi
- $\text{Log } \bar{X}$  = nilai rata-rata
- $\text{Log } X_i$  = nilai variasi ke-i
- $n$  = jumlah data

c. Koefisien *Skewness* (*Coefficient of Skewness*)

Kemencengan (*skewness*) adalah ukuran ketidaksimetrisan distribusi data. Besarnya kemencengan diukur dengan koefisien kemencengan ( $C_s$ ) yang dihitung dengan persamaan matematika untuk distribusi Normal dan *Gumbel* sebagai berikut:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

- $C_s$  = koefisien *skewness*
- $S_d$  = standar deviasi
- $\bar{X}$  = nilai rata-rata
- $X_i$  = nilai variasi ke- $i$
- $n$  = jumlah data

Persamaan untuk distribusi *Log Normal* dan *Log Pearson III*:

$$C_{s_{\text{Log } \bar{X}}} = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(S_{d_{\text{Log } \bar{X}}})^3} \dots \dots \dots (2.8)$$

- $C_{s_{\text{Log } \bar{X}}}$  = koefisien *skewness*
- $S_{d_{\text{Log } \bar{X}}}$  = standar deviasi
- $\text{Log } \bar{X}$  = nilai rata-rata
- $\text{Log } X_i$  = nilai variasi ke- $i$
- $n$  = jumlah data

d. Koefisien *Kurtosis* (*Coefficient of Kurtosis*)

Analisis keruncingan (*kurtosis*) distribusi data yang bertujuan untuk menentukan seberapa besar bentuk kurva distribusi data tersebut menyimpang dari distribusi normal. Pengukuran keruncingan ini dapat dilakukan menggunakan persamaan:

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

- $C_k$  = koefisien *kurtosis*
- $S_d$  = standar deviasi

- $\bar{X}$  = nilai rata-rata
- $X_i$  = nilai variasi ke-i
- $n$  = jumlah data

e. Koefisien Variasi (*Coefficient of Variation*)

Koefisien variasi (Cv) merupakan ukuran statistik yang digunakan untuk menentukan tingkat keragaman relatif dalam suatu distribusi data. Cv dihitung sebagai perbandingan antara standar deviasi (Sd) dengan nilai rata-rata hitung ( $\bar{X}$ ), menggunakan persamaan:

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2. 10)$$

Dimana:

- Cv = koefisien variasi
- Sd = standar deviasi
- $\bar{X}$  = nilai rata-rata

f. Kriteria Pemilihan Distribusi

Untuk memilih metode analisis distribusi frekuensi hujan yang tepat, beberapa syarat pemilihan distribusi frekuensi harus dipertimbangkan.

Tabel 2. 1 Syarat Pemilihan Distribusi Frekuensi

No	Jenis Distribusi	Syarat
1	Gumbel	$Cs \leq 1,1396$ $Ck \leq 5,4002$
2	Log Normal	$Cs = Cv^3 + 3Cv$ $Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$
3	Normal	$Cs = 0$ $Ck = 3$
4	Log Person Tipe III	Selain dari nilai diatas (tidak ada syarat)

(Sumber: Bambang Triatmodjo, 2008)

**3. Analisis Distribusi Frekuensi**

a. Distribusi Normal

Metode ini berdasarkan pada asumsi bahwa sebaran hujan mengikuti distribusi normal atau kurva normal, yang juga dikenal

sebagai distribusi *Gauss*. Perhitungan metode distribusi ini menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_{24} = \bar{X} + (k \times Sd) \dots \dots \dots (2. 11)$$

Dimana:

$R_{24}$  = curah hujan harian maksimum rencana (mm)

$\bar{X}$  = nilai rata-rata

Sd = standar deviasi

k = faktor frekuensi (Tabel 2.2)

Tabel 2. 2 Variabel Reduksi *Gauss*

No	Periode	k
1	1,001	-3,05
2	1,005	-2,58
3	1,010	-2,33
4	1,050	-1,64
5	1,110	-1,28
6	1,250	-0,84
7	1,330	-0,67
8	1,430	-0,52
9	1,670	-0,25
10	2,000	0,00
11	2,500	0,25
12	3,330	0,52
13	4,000	0,67
14	5,000	0,84
15	10,000	1,28
16	20,000	1,64
17	25,000	1,75
18	50,000	2,05
19	100,000	2,33
20	200,000	2,58
21	500,000	2,88
22	1000,000	3,09

(Sumber: Suripin, 2004)

b. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yang diperoleh dengan mengubah variabel X

menjadi logaritma varian (X). Rumus yang digunakan dalam perhitungan metode ini adalah:

$$R_{24} = \text{Log } \bar{X} + (k \times \text{Sd}_{\text{Log } \bar{X}}) \dots\dots\dots (2. 12)$$

Dimana:

$R_{24}$  = curah hujan harian maksimum rencana (mm)

$\text{Sd}_{\text{Log } \bar{X}}$  = standar deviasi

$\text{Log } \bar{X}$  = nilai rata-rata

k = faktor frekuensi (lihat di Tabel 2. 2)

c. Distribusi *Gumbel*

Metode *Gumbel* adalah suatu metode statistik yang digunakan untuk menganalisis data yang memiliki variasi besar. Persamaan matematika metode ini adalah:

$$R_{24} = \bar{X} + (k \times \text{Sd}) \dots\dots\dots (2. 13)$$

Dimana:

$R_{24}$  = curah hujan harian maksimum rencana (mm)

$\bar{X}$  = nilai rata-rata

Sd = standar deviasi

k = faktor frekuensi

Nilai k didapat dari perhitungan:

$$k = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots (2. 14)$$

Dimana:

$Y_t$  = nilai reduksi variasi (lihat di Tabel 2. 3)

$Y_n$  = nilai reduksi rata-rata (lihat di Tabel 2. 4)

$S_n$  = nilai reduksi deviasi (lihat di Tabel 2. 5)

Tabel 2. 3 Variasi Reduksi Metode *Gumbel*

Periode Ulang (Tahun)	Reduced Variate
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985

Lanjutan Tabel 2. 3 Variasi Reduksi Metode *Gumbel*

Periode Ulang (Tahun)	Reduced Variate
50	3,9019
100	4,6001
200	5,2960
500	6,2140
1000	6,9190
5000	8,5390
10000	9,9210

(Sumber: Suripin, 2004)

Tabel 2. 4 Tabel Reduksi Nilai Rata-rata

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	0,5300	0,5820	0,5882	0,5343	0,5353
30	0,5363	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5400	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5463	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5468	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									

(Sumber: Suripin, 2004)

Tabel 2. 5 Tabel Reduksi Nilai Deviasi

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	1,0315	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
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	1,1923	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	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2046	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

(Sumber: Suripin, 2004)

d. Distribusi *Log Pearson III*

Metode *Log Pearson III* adalah suatu metode statistik yang digunakan untuk menganalisis data yang memiliki variasi besar dan tidak simetris. Persamaan matematika metode ini adalah:

$$R_{24} = 10^{\text{Log } Y} \dots\dots\dots (2. 15)$$

$$\text{Log } Y = \text{Log } \bar{X} + (k \times \text{Sd}_{\text{Log } \bar{X}})$$

$$k = G \times \text{Sd}_{\text{Log } \bar{X}} \dots\dots\dots (2. 16)$$

Diamana:

$R_{24}$  = curah hujan harian maksimum rencana (mm)

$\text{Sd}_{\text{Log } \bar{X}}$  = standar deviasi

$\text{Log } \bar{X}$  = nilai rata-rata

k = faktor frekuensi

G = harga G periode ulang terhadap Cs (lihat di Tabel 2. 6)

Tabel 2. 6 Tabel Harga G Untuk Distribusi *Log Pearson III*

Cs	Periode Ulang (Tahun)						
	2	5	10	20	25	50	100
	Peluang (%)						
	50	20	10	5	4	2	1
3,0	-0,396	0,420	1,180	2,0950	2,278	3,152	4,051
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,0933	2,262	3,048	3,845
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,0807	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,0662	2,219	2,912	3,605
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,0472	2,193	2,848	3,499
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,0240	2,163	2,780	3,388
1,4	-0,225	0,705	1,337	1,9962	2,128	2,706	3,271
1,2	-0,195	0,732	1,340	1,9625	2,087	2,626	3,149
1,0	-0,164	0,758	1,340	1,9258	2,043	2,542	3,022
0,9	-0,148	0,769	1,339	1,9048	2,018	2,498	2,957
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,8877	2,998	2,453	2,891
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,8613	2,967	2,407	2,824
0,6	-0,099	0,800	1,328	1,8372	2,939	2,359	2,755
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,8122	2,910	2,311	2,686
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,7862	2,880	2,261	2,615
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,7590	2,849	2,211	2,544
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,7318	2,818	2,159	2,472

Lanjutan Tabel 2. 6 Tabel Harga G Untuk Distribusi *Log Pearson III*

Cs	Periode Ulang (Tahun)						
	2	5	10	20	25	50	100
	Peluang (%)						
	50	20	10	5	4	2	1
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,7028	2,785	2,107	2,400
0,0	0,000	0,842	1,282	1,6728	2,751	2,054	2,326
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,6417	2,761	2,000	2,252
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,6097	1,680	1,945	2,178
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,5767	1,643	1,890	2,104
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,5435	1,606	1,834	2,029
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,5085	1,567	1,777	1,955
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,4733	1,528	1,720	1,880
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,4372	1,488	1,663	1,806
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,4010	1,488	1,606	1,733
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,3637	1,407	1,549	1,660
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,3263	1,366	1,492	1,588
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,2493	1,282	1,379	1,449
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,1718	1,198	1,270	1,318
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,0957	1,116	1,166	1,200
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,0200	0,035	1,069	1,089
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,9483	0,959	0,980	0,990
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,8807	0,888	0,900	0,905
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,7893	0,793	0,798	0,799
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,6650	0,666	0,666	0,667

(Sumber: Bambang Triatmodjo, 2008)

#### 4. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Uji kesesuaian distribusi frekuensi adalah suatu prosedur statistik yang digunakan untuk menentukan apakah data yang diperoleh sesuai dengan distribusi teoritis tertentu. Terdapat dua metode yang umum digunakan dalam uji kesesuaian distribusi frekuensi, yaitu:

##### a. Metode Uji Chi Kuadrat (*Chi-Square*)

Metode ini digunakan untuk memvalidasi distribusi data curah hujan dengan langkah-langkah perhitungan berikut:

- 1) Mengurutkan data pengamatan dari besar ke kecil.
- 2) Carilah jumlah kelas (K) dengan rumus:

$$K = 1 + 3,322 \log n \dots\dots\dots (2. 17)$$

Dimana:

K = jumlah kelas

n = jumlah data

3) Menghitung Derajat Kebebasan (DK) dan  $X^2Cr$

Rumus:

$$DK = K - (P + 1) \dots\dots\dots (2. 18)$$

$$P = \frac{n}{K} \dots\dots\dots (2. 19)$$

Dimana:

DK = derajat kebebasan

P = banyaknya parameter

Banyaknya parameter untuk menghitung nilai  $X^2Cr$  bisa dilihat dari Tabel 2. 7 yaitu tabel nilai kritis derajat nyata untuk derajat kepercayaan ( $\alpha$ ) tertentu yang sering diambil besarnya 5% dengan parameter derajat kebebasan.

Tabel 2. 7 Tabel Nilai Kritis Derajat Kepercayaan Uji *Chi-Square*

DK	Derajat Kepercayaan ( $\alpha$ )							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,00016	0,00098	0,0039	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,01	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,21	10,6
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,35	12,84
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,14	13,28	14,86
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,07	12,83	15,09	16,75
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,59	14,45	16,81	18,55
7	0,989	1,239	1,69	2,167	14,07	16,01	18,48	20,28
8	1,344	1,646	2,18	2,733	15,51	17,54	20,09	21,96
9	1,735	2,088	2,7	3,325	16,92	19,02	21,67	23,59
10	2,156	2,558	3,247	3,94	18,31	20,48	23,21	25,19
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,68	21,92	24,73	26,76
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,03	23,34	26,22	28,3
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,36	24,74	27,69	29,82
14	4,075	4,66	5,629	6,571	23,69	26,12	29,14	31,32
15	4,601	5,229	6,262	7,261	25	27,49	30,58	32,8
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,3	28,85	32	34,27

Lanjutan Tabel 2. 7 Tabel Nilai Kritis Derajat Kepercayaan Uji Chi-Square

DK	Derajat Kepercayaan ( $\alpha$ )							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,59	30,19	33,41	35,72
18	6,265	7,015	8,231	9,39	28,87	31,53	34,81	37,16
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,14	32,85	36,19	38,58
20	7,434	8,26	9,591	10,851	31,41	34,17	37,57	40
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,67	35,48	38,93	41,4
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,92	36,78	40,29	42,8
23	9,26	10,196	11,689	13,091	36,17	38,08	41,68	44,18
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,42	39,36	42,98	45,56
25	10,52	11,524	13,12	14,611	37,65	40,65	44,31	46,93
26	11,16	12,198	13,844	15,379	38,89	41,92	45,64	48,29
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,11	43,19	46,96	49,65
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,34	44,46	48,28	50,99
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,56	45,72	49,59	52,34
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,77	46,98	50,89	53,67

(Sumber: Suripin, 2004)

4) Menghitung Nilai  $X^2$

Lalu menghitung harga  $X^2$  dari derajat kebebasan dan taraf signifikasi dengan terlebih dahulu mencari nilai yang diharapkan ( $E_i$ ).

Rumus:

$$X^2 = \sum \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2. 20)$$

$$E_i = \frac{n}{K} \dots\dots\dots (2. 21)$$

Dimana:

$O_i$  = jumlah nilai yang diamati

$E_i$  = nilai yang diharapkan

5) Rekapitulasi Nilai  $X^2$  dan  $X^2_{Cr}$

Lalu lihat hasil komparasi antara nilai  $X^2_{Cr}$  hasil tabel dengan  $X^2$  hasil hitungan syarat  $X^2 < X^2_{Cr}$

b. Metode Uji *Smirnov Kolmogorof*

Metode pengujian ini bertujuan untuk melihat hasil komparasi atau selisih maksimum antara hasil garis teoritis dengan area data pada kertas probabilitas. Adapun urutannya adalah sebagai berikut:

- a. Langkah pertama lakukan pengurutan data bisa dari besar ke kecil atau sebaliknya dan kemudian carilah besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.
- b. Langkah berikutnya yaitu pengurutan nilai dari tiap-tiap peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).
- c. Kemudian berdasarkan hasil kedua nilai peluang tersebut, maka carilah selisih tersebarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$DP \text{ maksimum} = (P(X_i) - P'(X_i)) \dots\dots\dots (2. 22)$$

- d. Menghitung nilai DP kritis dari Tabel 2. 8 yaitu tabel nilai kritis derajat nyata untuk derajat kepercayaan ( $\alpha$ ) tertentu yang sering diambil besarnya 5% dengan parameter jumlah data (n).
- e. Lalu lihat hasil komparasi antara nilai DP kritis hasil tabel dengan DP hasil hitungan syarat  $DP < DP$  kritis.

Tabel 2. 8 Tabel Nilai Kritis Derajat Kepercayaan Uji *Smirnov-Kolmogorof*

n	Derajat Kepercayaan ( $\alpha$ )				
	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
1	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
2	0,684	0,776	0,842	0,900	0,929
3	0,565	0,636	0,708	0,785	0,829
4	0,493	0,565	0,624	0,689	0,734
5	0,447	0,509	0,563	0,627	0,669
6	0,410	0,468	0,519	0,577	0,617
7	0,381	0,436	0,483	0,538	0,576
8	0,359	0,410	0,454	0,507	0,542
9	0,339	0,387	0,430	0,480	0,513
10	0,323	0,369	0,409	0,457	0,486
11	0,308	0,352	0,391	0,437	0,468

Lanjutan Tabel 2. 8 Tabel Nilai Kritis Derajat Kepercayaan Uji  
*Smirnov-Kolmogorof*

n	Derajat Kepercayaan ( $\alpha$ )				
	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
12	0,296	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,285	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,275	0,314	0,349	0,390	0,418
15	0,266	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,258	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,250	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,244	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,237	0,271	0,301	0,337	0,361
20	0,232	0,265	0,294	0,329	0,352
21	0,226	0,259	0,287	0,321	0,344
22	0,221	0,253	0,281	0,314	0,337
23	0,216	0,247	0,275	0,307	0,330
24	0,212	0,242	0,269	0,301	0,323
25	0,208	0,238	0,264	0,295	0,317
26	0,204	0,233	0,259	0,290	0,311
27	0,200	0,229	0,254	0,284	0,305
28	0,197	0,225	0,250	0,279	0,300
29	0,193	0,221	0,246	0,275	0,295
30	0,190	0,218	0,242	0,270	0,290
35	0,177	0,202	0,224	0,251	0,269
40	0,165	0,189	0,210	0,235	0,252
45	0,156	0,179	0,198	0,222	0,238
50	0,148	0,170	0,188	0,211	0,226
55	0,142	0,162	0,180	0,201	0,216
60	0,136	0,155	0,172	0,193	0,207
65	0,131	0,149	0,166	0,185	0,199
70	0,126	0,144	0,160	0,179	0,192
75	0,122	0,139	0,154	0,173	0,185
80	0,118	0,135	0,150	0,167	0,179
85	0,114	0,131	0,145	0,162	0,174
90	0,111	0,127	0,141	0,158	0,169
95	0,108	0,124	0,137	0,154	0,165
100	0,106	0,121	0,134	0,150	0,161

(Sumber: Soewarno, 1995)

## D. Debit Banjir Rencana

### 1. Metode Rasional

Metode ini digunakan dengan anggapan bahwa daerah aliran sungai memiliki kriteria yaitu intensitas curah hujan merata diseluruh daerah aliran sungai dengan durasi tertentu, lamanya curah hujan sama dengan waktu konsentrasi daerah aliran sungai, intensitas curah hujan mempunyai tahun berulang yang sama dan luas DAS < 300 km<sup>2</sup>.

#### a. Kecepatan Aliran (v)

Rumus:

$$v = 72 \times \left(\frac{\Delta H}{L}\right)^{0,6} \dots\dots\dots (2. 23)$$

Dimana:

v = kecepatan aliran (m/det)

$\Delta H$  = perbedaan elevasi antara hulu dan hilir (m)

L = panjang sungai (m)

#### b. Waktu Konsentrasi (tc)

Rumus:

$$tc = \frac{L}{v} \dots\dots\dots (2. 24)$$

Dimana:

tc = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang sungai (m)

v = kecepatan (m/det)

#### c. Intensitas Curah Hujan (I)

Menggunakan rumus mononobe:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{tc}\right)^{2/3} \dots\dots\dots (2. 25)$$

Dimana:

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

R<sub>24</sub> = curah hujan harian maksimul rencana (mm)

#### d. Koefisien Pengaliran (C)

Cara menentukan nilai C adalah dengan melihat Tabel 2. 9.

Tabel 2. 9 Tabel Koefisien Pengaliran Untuk Daerah Urban

No	Jenis Daerah	Koefisien C
1	Daerah perdagangan	
	• Perkotaan ( <i>down town</i> )	0,70 - 0,90
	• Pinggiran	0,50 - 0,70
2	Pemukiman	
	• Perumahan satu keluarga	0,30 - 0,50
	• Perumahan berkelompok, terpisah-pisah	0,40 - 0,60
	• Perumahan berkelompok, bersambungan	0,60 - 0,75
	• Suburban	0,25 - 0,40
	• Daerah apartemen	0,50 - 0,70
3	Industri	
	• Daerah industri ringan	0,50 - 0,80
	• Daerah industri berat	0,60 - 0,90
4	Taman, pekuburan	0,10 - 0,25
5	Tempat bermain	0,20 - 0,35
6	Daerah stasiun kereta api	0,20 - 0,40
7	Daerah belum diperbaiki	0,10 - 0,30
8	Jalan	0,70 - 0,95
9	Beta	
	• Jalan	0,75 - 0,85
	• Atap	0,75 - 0,95

(Sumber: Arsyad, 2006)

Tabel 2. 10 Tabel Koefisien Pengaliran untuk DAS Pertanian

No	Tanaman Penutup Tanah dan Kondisi Hidrologi	Koefisien C Untuk Laju Hujan		
		25 (mm/jam)	100 (mm/jam)	200 (mm/jam)
1	Tanaman dalam baris, buruk	0,63	0,65	0,66
2	Tanaman dalam baris, baik	0,47	0,56	0,62
3	Padian, baik	0,38	0,38	0,38
4	Padian, baik	0,18	0,21	0,22
5	Padang rumput potong pergiliran tanaman, baik	0,29	0,36	0,39
6	Padang rumput, penggembalaan tetap, baik	0,02	0,17	0,23
7	Hutan dewasa, baik	0,02	0,10	0,15

(Sumber: Arsyad, 2006)

e. Debit Banjir Metode Rasional (Q)

Rumus:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3,60} \dots\dots\dots (2. 26)$$

Dimana:

Q = debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/det)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

A = luas daerah aliran sungai (km<sup>2</sup>)

2. Metode *Haspers*

Metode *Haspers* digunakan pada luas DAS < 300 km<sup>2</sup>. Persamaan-persamaan yang digunakan sebagai berikut:

a. Koefisien Pengaliran ( $\alpha$ )

Rumus:

$$\alpha = \frac{1 + (0,012 \times A^{0,7})}{1 + (0,075 \times A^{0,7})} \dots\dots\dots (2. 27)$$

Dimana:

$\alpha$  = koefisien pengaliran

A = luas daerah aliran sungai (km<sup>2</sup>)

b. Waktu Konsentrasi (tc)

Rumus:

$$tc = 0,1 \times L^{0,85} \times (S)^{-30} \dots\dots\dots (2. 28)$$

$$S = \frac{\Delta H}{L} \dots\dots\dots (2. 29)$$

Dimana:

tc = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang sungai (km)

S = kemiringan rata-rata

$\Delta H$  = perbedaan elevasi antara hulu dan hilir (m)

c. Koefisien Reduksi ( $\beta$ )

Rumus:

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{1 + 3,7 \times 10^{-0,4 \times t_c}}{t_c^2 + 15} \times \frac{A^{3/4}}{12} \dots\dots\dots (2. 30)$$

Dimana:

- $\beta$  = koefisien reduksi
- $t_c$  = waktu konsentrasi (jam)
- A = luas daerah aliran sungai (km<sup>2</sup>)

d. Hitung r

Rumus:

- Untuk  $t_c < 2$  jam

$$r = \frac{t_c \times R_{24}}{t_c + 1 - 0,0008 \times (260 - R_{24}) \times (2 - t_c)^2} \dots\dots\dots (2. 31)$$

- Untuk  $2 \text{ jam} < t_c < 19 \text{ jam}$

$$r = \frac{t_c \times R_{24}}{t_c + 1} \dots\dots\dots (2. 32)$$

- Untuk  $19 \text{ jam} < t_c < 30 \text{ hari}$

$$r = 0,707 \times R_{24} \times (t_c + 1)^{1/2} \dots\dots\dots (2. 33)$$

Dimana:

- $t_c$  = waktu konsentrasi (jam)
- $R_{24}$  = curah hujan harian maksimum rencana (mm)

e. Intensitas Curah Hujan ( $I_i$ )

Rumus:

$$I_i = \frac{r_i}{3,6 \times t_c} \dots\dots\dots (2. 34)$$

Dimana:

- $I_i$  = intensitas curah hujan tahun ke-i (m<sup>3</sup>/det/km)
- $t_c$  = waktu konsentrasi (jam)

f. Debit Banjir Metode *Haspers* (Q)

Rumus:

$$Q = \alpha \times \beta \times I_i \times A \dots\dots\dots (2. 35)$$

Dimana:

- Q = debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/det)

- $\alpha$  = koefisien pengaliran
- $\beta$  = koefisien pengurangan luas daerah hujan
- $I_i$  = intensitas curah hujan tahun ke-i ( $m^3/det/km$ )
- $A$  = luas daerah aliran sungai ( $m^2$ )

### 3. Metode *Melchior*

Metode ini sesuai untuk daerah dengan luas lebih dari 100  $km^2$  dan hujan dengan durasi kurang dari 24 jam. Tahapan analisis metode ini adalah sebagai berikut:

#### a. Menghitung Luas *Elips*

- Sumbu Panjang (a)

$$a = 0,9L \dots\dots\dots (2.36)$$

- Sumbu Pendek *Elips* (b)

$$b = \frac{2}{3}a \dots\dots\dots (2.37)$$

- Luas *Elips* (F)

$$F = \frac{1}{4}\pi ab \dots\dots\dots (2.38)$$

Dimana:

- F = luas *elips* ( $m^2$ )
- L = panjang sungai (km)
- a = sumbu panjang (m)
- b = sumbu pendek *elips* (m)

#### b. Menghitung Kemiringan Dasar Sungai (S)

Rumus:

$$S = \frac{H_1 - H_2}{1000 \times 0,9 \times L} \dots\dots\dots (2.39)$$

Dimana:

- S = kemiringan dasar sungai
- $H_1$  = elevasi hulu (m)
- $H_2$  = elevasi hilir (m)
- L = panjang sungai (km)

c. Menghitung Koefisien Pengurangan Luas ( $\beta_1$ )

Rumus:

$$F = \frac{1970}{\beta_1 - 0,12} - 3960 + 1720\beta_1 \dots\dots\dots (2. 40)$$

Dimana:

F = luas *elips* (m<sup>2</sup>)

$\beta_1$  = koefisien pengurangan luas daerah hujan

d. Menaksir Besar Hujan Maksimum Sehari ( $R_0$ )

Dengan melihat hubungan F dan R pada Tabel 2.10 yaitu nilai taksir  $R_0$  (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/det) terhadap *elips* (km<sup>2</sup>). Untuk mencari  $R_0$  karna diketahui F maka bisa mencari dengan cara interpolasi.

Rumus:

$$R_0 = R_{0 \text{ atas}} - \frac{F_{\text{atas}} - F}{F_{\text{atas}} - F_{\text{bawah}}}(R_{0 \text{ atas}} - R_{0 \text{ bawah}}) \dots\dots\dots (2. 41)$$

Dimana:

$R_0$  = hujan maksimum sehari taksir (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/det)

$R_{0 \text{ atas}}$  = batas atas hujan maksimum sehari (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/det)

$R_{0 \text{ bawah}}$  = batas bawah hujan maksimum sehari (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/det)

F = luas *elips* (m<sup>2</sup>)

$F_{\text{atas}}$  = batas atas luas *elips* (m<sup>2</sup>)

$F_{\text{bawah}}$  = batas bawah luas *elips* (m<sup>2</sup>)

Tabel 2. 11 Nilai Taksir  $R_0$  (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/det) terhadap *Ellips* (km<sup>2</sup>)

<b>F</b>	<b>R<sub>0</sub></b>	<b>F</b>	<b>R<sub>0</sub></b>	<b>F</b>	<b>R<sub>0</sub></b>
0,14	29,6	144	4,75	720	2,3
0,72	22,45	216	4	1080	1,85
1,4	19	288	3,6	1440	1,55
7,2	14,15	360	3,3	2160	1,2
14	11,85	432	3,05	2880	1
29	9	504	2,85	4320	0,7
72	6,25	576	2,65	5760	0,54
108	5,25	648	2,45	7200	0,48

(Sumber: Subarkah, 1980)

e. Menghitung Debit Banjir Taksir ( $Q_0$ )

Rumus:

$$Q_0 = \beta_1 \times R_0 \times A \dots\dots\dots (2. 42)$$

Dimana:

- $Q_0$  = debit banjir taksir ( $m^3/det$ )
- $\beta_1$  = koefisien pengurangan luas daerah hujan
- $R_0$  = hujan maksimum sehari taksir ( $m^3/km^2/det$ )
- $A$  = luas daerah aliran sungai ( $m^2$ )

f. Menghitung Kecepatan Aliran ( $v$ )

Rumus:

$$v = 1,31(Q_0 \times S^2)^{0,2} \dots\dots\dots (2. 43)$$

Dimana:

- $v$  = kecepatan aliran ( $m/det$ )
- $Q_0$  = debit banjir taksir ( $m^3/det$ )
- $S$  = kemiringan dasar sungai

g. Menghitung Waktu Konsentrasi ( $t_c$ )

Rumus:

$$t_c = \frac{10L}{36v} \dots\dots\dots (2. 44)$$

Dimana:

- $t_c$  = waktu konsentrasi (jam)
- $L$  = panjang sungai (km)
- $v$  = kecepatan aliran ( $m/det$ )

h. Menghitung Nilai Koefisien Reduksi ( $\beta$ )

Rumus:

$$\beta = \beta_1 \times \beta_2 \dots\dots\dots (2. 45)$$

Dimana:

- $\beta$  = koefisien reduksi

Dengan diketahuinya nilai  $\beta_1$ , F dan T. Dengan melihat data Tabel 2. 11 hubungan antara F dan T maka bisa dicari  $\beta_2$  dengan cara interpolasi.

Tabel 2. 12 Persentase  $\beta_2$  (%) terhadap Nilai F dan Hujan Sehari

F km <sup>2</sup>	Lamanya Hujan											
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24
0	44	64	80	89	92	92	93	94	95	96	98	100
10	37	57	70	80	82	84	87	90	91	95	97	100
50	29	45	57	66	70	74	79	83	88	94	96	100
300	20	33	43	52	57	61	69	77	85	93	95	100
0,00	12	23	32	42	50	54	66	74	83	92	94	100

(Sumber: Kamiana, 2011)

i. Menghitung Curah Hujan Maksimum

Rumus:

$$R_T = \frac{10 \times \beta \times R_{24}}{36tc} \dots \dots \dots (2. 46)$$

Dimana:

$R_T$  = curah hujan maksimum (mm)

$\beta$  = koefisien reduksi

$R_{24}$  = curah hujan harian maksimum rencana (mm)

$tc$  = waktu konsentrasi (jam)

Jika nilai  $R_0 \neq R_T$  maka, coba lagi sampai  $R_0 = R_T$  dengan cara mengubah  $R_0$ .

j. Menghitung Debit Banjir Rencana (Q)

Rumus:

$$Q = Q_1 + Q_2 \dots \dots \dots (2. 47)$$

$$Q_1 = \beta \times R_T \times A \times \frac{R_{24}}{200} \dots \dots \dots (2. 48)$$

$$Q_2 = Q_1 \times n \dots \dots \dots (2. 49)$$

Dimana:

Q = debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/det)

$R_T$  = curah hujan maksimum (mm)

A = luas daerah aliran sungai (km<sup>2</sup>)

$R_{24}$  = curah hujan harian maksimum rencana (mm)

Nilai n adalah persentasi penjumlahan yang bergantung dari harga tc yang dapat dilihat pada Tabel 2. 12.

Tabel 2. 13 Persentase Nilai n (%) yang Tergantung dari Nilai tc (menit)

tc	n %	tc	n %	tc	n %
40	2	895 - 980	13	1860 - 1950	24
40 - 115	3	980 - 1070	14	1950 - 2035	25
115 - 190	4	1070 - 1155	15	2035 - 2120	26
190 - 270	5	1155 - 1240	16	2120 - 2210	27
270 - 360	6	1240 - 1330	17	2210 - 2295	28
360 - 450	7	1330 - 1420	18	2295 - 2380	29
450 - 540	8	1420 - 1510	19	2380 - 2465	30
540 - 630	9	1510 - 1595	20	2465 - 2550	31
630 - 720	10	1595 - 1680	21	2550 - 2640	32
720 - 810	11	1680 - 1770	22	2640 - 2725	33
810 - 895	12	1770 - 1860	23	2725 - 2815	34

(Sumber: Subarkah, 1980)