

## **BAB II**

### **STUDI LITERATUR**

#### **2.1 Umum**

Banjir merupakan bencana alam sekaligus permasalahan yang sering terjadi di beberapa wilayah Indonesia, terutama daerah padat penduduk. Banjir disebabkan oleh beberapa faktor seperti curah hujan tinggi, kondisi sungai, erosi, sedimentasi, kapasitas sungai yang tidak memadai dan pengaruh air pasang. Sementara faktor manusia yang menjadi penyebabnya adalah perubahan kondisi daerah pengaliran sungai, kawasan kumuh, sampah, drainase lahan, bendung dan bangunan air, kerusakan bangunan pengendali banjir dan perencanaan sistem pengendalian banjir yang tidak tepat (Kodoatie & Sugiyanto, 2002). Semakin meningkatnya permintaan sarana perumahan akan berdampak terhadap perubahan fungsi lahan dimana kawasan yang awalnya hutan atau kebun berubah menjadi kawasan perumahan, sehingga berdampak terhadap tidak seimbangny siklus hidrologi (Pratiwi, 2017). Banyak kerugian yang ditimbulkan akibat banjir seperti mengganggu aktivitas masyarakat, lumpuhnya perekonomian, terhambatnya jalur transportasi, bahkan kehilangan nyawa. Oleh karena itu perlu adanya pengendalian banjir dengan tujuan dapat memperkecil kerugian yang timbul akibat banjir.

#### **2.2 Analisis Hidrologi**

Secara umum analisis hidrologi merupakan satu bagian analisis awal dalam perancangan bangunan-bangunan hidraulik. Proses analisa hidrologi mencakup penentuan daerah aliran sungai (*catchment area*), memperkirakan data hujan yang hilang, analisis curah hujan kawasan, analisis frekuensi curah hujan, uji kecocokan data analisis, dan analisis debit banjir rencana.

### **2.2.1 Daerah Aliran Sungai (*Catchment Area*)**

Definisi Daerah Aliran Sungai menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

Berikut merupakan persyaratan dalam menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) :

- a. Penentuan DAS sesuai dengan peta kontur/petarupa bumi
- b. Penarikan garis DAS tegak lurus dengan garis lurus yang menunjukkan ketinggian dari elevasi tinggi ke rendah atau dari hulu ke hilir
- c. Melakukan observasi terhadap tata guna lahan yang dapat berupa jalan, rel kereta api, drainase ataupun sungai

### **2.2.2 Memperkirakan Data Hujan yang Hilang**

Dalam melakukan analisis data curah hujan perlu dicek kontinuitas data, karena data curah hujan yang diperoleh biasanya tidak lengkap disebabkan beberapa faktor seperti, data yang tidak tercatat karena *human error* atau kerusakan alat pada stasiun hujan. Sehingga data-data hilang tersebut perlu dilengkapi dengan memperkirakan data curah hujan yang hilang pada stasiun terdekat.

Berikut merupakan beberapa metode yang digunakan untuk melengkapi data hujan yang hilang :

### 2.2.2.1 Metode Rata-rata Aritmatika

Persamaan berikut digunakan bila perbedaan curah hujan tahunan normal antara stasiun pembanding dengan stasiun yang kehilangan data  $< 10\%$ .

$$P_x = \frac{1}{n} x (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$P_x$  = Tinggi curah hujan rata-rata

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  = Tinggi curah hujan pada stasiun hujan 1, 2, ..., n

$n$  = Banyaknya stasiun hujan

### 2.2.2.2 Normal Ratio Method

Jika perbedaan curah hujan tahunan normal  $> 10\%$  antara stasiun pembanding dengan stasiun yang kehilangan data, maka menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{r_x}{R_x} = \frac{1}{n-1} \left( \sum_{n=1}^n \frac{r_n}{R_n} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$r_x$  = Tinggi curah hujan yang dicari (mm/hari)

$R_x$  = Nilai rata-rata curah hujan pada stasiun hujan yang dicari  
(mm/hari)

$n$  = Banyaknya stasiun hujan

$R_n$  = Tinggi curah hujan pada tahun yang sama dengan  $r_x$  setiap stasiun pembanding (mm/hari)

### 2.2.2.3 Metode Inversed Square Distance

$$P_x = \frac{\frac{1}{(d_{XA})^2} P_A + \frac{1}{(d_{XB})^2} P_B + \frac{1}{(d_{XC})^2} P_C}{\frac{1}{(d_{XA})^2} + \frac{1}{(d_{XB})^2} + \frac{1}{(d_{XC})^2}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$P_x$  = Tinggi curah hujan yang dicari (mm/hari)

$P_A, P_B, P_C$  = Tinggi hujan pada stasiun disekitarnya (mm/hari)

$d_{XA}, d_{XB}, d_{XC}$  = Jarak stasiun X terhadap masing – masing stasiun A,B,C

### 2.2.3 Analisis Curah Hujan Wilayah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rencana pemanfaatan air dan rencana pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah , bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini biasa disebut curah hujan wilayah (Sosrodarsono, 1993).

Dalam menentukan curah hujan kawasan ada beberapa metode yang dapat digunakan, diantaranya sebagai berikut :

#### 2.2.3.1 Metode Rata-rata Aljabar (Aritmatik)

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dapat diperoleh dengan menghitung rata-rata aritmatik dari semua total penakar hujan di suatu kawasan yang datar (Seyhan, 1990).

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N}{N} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$P$  = Tinggi curah hujan rata-rata

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  = Tinggi curah hujan pada stasiun hujan 1,2,...,n

$n$  = Banyaknya stasiun hujan

### 2.2.3.2 Metode Poligon Thiessen

Metode poligon thiessen ini digunakan untuk kawasan-kawasan dengan jarak stasiun hujan yang tidak merata, metode ini tidak memperhitungkan topografi (Seyhan, 1990).

$$R = \frac{R_A \cdot A_A + R_B \cdot A_B + R_C \cdot A_C + \dots + R_n \cdot A_n}{A_A + A_B + A_C + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.5)$$

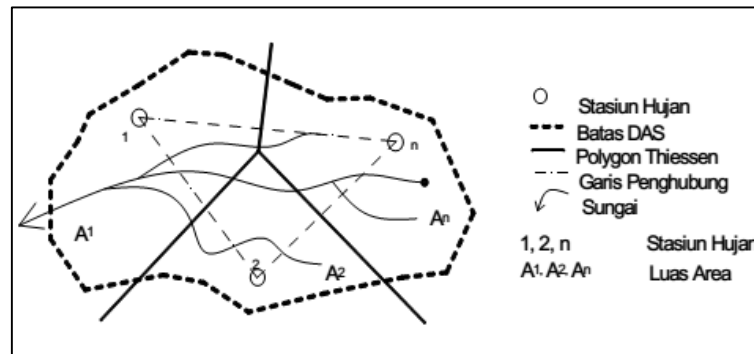
Dimana :

A = Luas Areal

R = Tinggi curah hujan rata-rata areal

$R_A, R_B, R_C, \dots, R_n$  = Tinggi curah hujan pada stasiun hujan 1, 2, ..., n

$A_A, A_B, A_C, \dots, A_n$  = Luas areal dari pengaruh stasiun hujan 1, 2, ..., n



**Gambar 2. 1 Curah Hujan dengan Metode Poligon Thiessen**

(Sumber : [www.google.com](http://www.google.com))

### 2.2.3.3 Metode Isohyet

Metode isohyet sangat baik untuk kawasan bergunung atau kawasan dengan curah hujan yang singkat, karena mempertimbangkan bentuk topografi. Metode ini membutuhkan stasiun hujan di daerah kawasan tersebut (Seyhan, 1990).

$$R = \frac{A_A \left( \frac{R_A + R_B}{2} \right) + A_B \left( \frac{R_B + R_C}{2} \right) + \dots + A_{n-1} \left( \frac{R_{n-1} + R_n}{2} \right)}{A_A + A_B + A_C + \dots + A_{n-1}} \dots \dots \dots (2.6)$$

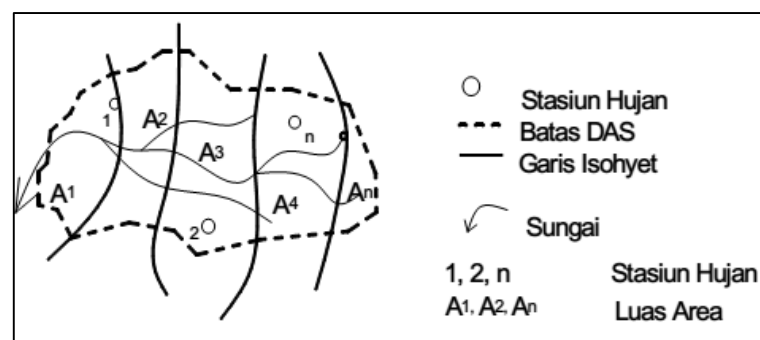
Dimana :

A = Luas Areal

R = Tinggi curah hujan rata-rata areal

$R_A, R_B, R_C, \dots, R_n$  = Tinggi curah hujan pada stasiun hujan 1, 2, ..., n

$A_A, A_B, A_C, \dots, A_n$  = Luas areal dari pengaruh stasiun hujan 1, 2, ..., n



**Gambar 2. 2 Curah Hujan dengan Metode Isohyet**

(Sumber : [www.google.com](http://www.google.com))

#### 2.2.4 Analisis Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi curah hujan adalah untuk memperoleh curah hujan dengan kala ulang beberapa tahun. Pada analisis ini digunakan beberapa metoda untuk memperkirakan curah hujan dengan periode ulang tertentu, antara lain :

- (1) Metoda Distribusi Normal,
- (2) Distribusi Log Normal 2 Parameter,
- (3) Distribusi Log Normal 3 Parameter,
- (4) Distribusi Gumbel,
- (5) Distribusi Pearson Type III,
- (6) Distribusi Log Pearson Type III.

Metoda yang dipakai nantinya harus ditentukan dengan melihat karakteristik distribusi hujan daerah setempat. Kala ulang yang akan dihitung pada masing-masing metode adalah untuk kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun.

Uraian masing-masing dari metoda yang dipakai adalah sebagai berikut :

### 2.2.4.1 Distribusi Normal

Perhitungan Distribusi Normal sebagai berikut :

$$X_{Tr} = \bar{X} + K_T \times S \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$X_{Tr}$  = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan (mm)

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

S = Standar deviasi dari data hujan X (mm)

$K_T$  = Faktor frekuensi (bergantung dari nilai T)

**Tabel 2. 1 Nilai  $K_T$  untuk Distribusi Normal**

No	Periode Ulang	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	0.00
11	2.500	0.400	0.25
12	3.330	0.300	0.52
13	4	0.250	0.67
14	5	0.200	0.84
15	10	0.100	1.28
16	20	0.050	1.64
17	50	0.020	2.05
18	100	0.010	2.33
19	200	0.005	2.58
20	500	0.002	2.88
21	1000	0.001	3.09

(Sumber : Bonnier, 1980 dalam Suripin, 2004)

### 2.2.4.2 Distribusi Log Normal 2 Parameter

Perhitungan Distribusi Log Normal 2 Parameter sebagai berikut :

$$X_{Tr} = \bar{X} + K_T \times S \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

$X_{Tr}$  = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan (mm)

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

S atau SD = Standar deviasi dari data hujan X (mm)

$K_T$  = Nilai karakteristik (bergantung dari nilai koefisien variasi Cv)

Cv = Koefisien Variasi

### 2.2.4.3 Distribusi Log Normal 3 Parameter

Perhitungan Distribusi Log Normal 3 Parameter sebagai berikut :

$$X_{Tr} = \bar{X} + K_T \times S \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

$X_{Tr}$  = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan (mm)

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

S atau SD = Standar deviasi dari data hujan X (mm)

$K_T$  = Nilai karakteristik (bergantung dari nilai Cs)

Cs = Koefisien Skewness

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

$X_i$  = Curah hujan di stasiun hujan ke i (mm)

n = Jumlah data



### 2.2.4.4 Distribusi Gumbel

Perhitungan Distribusi Gumbel sebagai berikut :

$$X_{tr} = \bar{X} + K \times S_x \dots\dots\dots (2.10)$$

$$K = \frac{Y_{Tr}-Y_n}{S_n} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

$X_{tr}$  = Besarnya curah hujan untuk periode tahun berulang  $T_r$  mm)

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

$S_x$  = Standar deviasi dari data hujan  $X$  (mm)

$K$  = Faktor Frekuensi Gumbel

$Y_{tr}$  = *Reduced variated*

$S_n$  = *Reduced standard deviasi*

$Y_n$  = *Reduced Mean*

**Tabel 2. 2 Reduced Mean ( $Y_n$ )**

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	0.5268	0.5296	0.5309	0.5320	0.5332	0.5343	0.5353
30	0.5362	0.5471	0.5380	0.5388	0.5396	0.5403	0.5410	0.5418	0.5424	0.5436
40	0.5436	0.5442	0.5448	0.5453	0.5458	0.5463	0.5468	0.5473	0.5477	0.5481
50	0.5485	0.5489	0.5493	0.5497	0.5501	0.5504	0.5508	0.5511	0.5515	0.5518
60	0.5521	0.5524	0.5527	0.5530	0.5533	0.5535	0.5538	0.5540	0.5543	0.5545
70	0.5548	0.5550	0.5552	0.5555	0.5557	0.5559	0.5561	0.5563	0.5565	0.5567
80	0.5569	0.5570	0.5572	0.5574	0.5576	0.5578	0.5580	0.5581	0.5583	0.5585
90	0.5586	0.5587	0.5589	0.5591	0.5592	0.5593	0.5595	0.5596	0.5598	0.5599
100	0.5600	0.5600	0.5603	0.5604	0.5606	0.5607	0.5608	0.5609	0.5610	0.5611

(Sumber : Suripin, 2004)

**Tabel 2. 3 Reduced Standard deviasi (Sn)**

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.9496	0.9676	0.9833	0.9971	1.0095	1.0206	1.0316	1.0411	1.0493	1.0565
20	1.0628	1.0696	1.0754	1.0811	1.0864	1.0915	1.0961	1.1004	1.1047	1.1080
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	1.1623	1.1638	1.1658	1.1667	1.1681	1.1696	1.1708	1.1721	1.1734
60	1.1747	1.1759	1.1770	1.1782	1.1793	1.1803	1.1814	1.1824	1.1834	1.1844
70	1.1854	1.1863	1.1873	1.1881	1.1890	1.1898	1.1906	1.1915	1.1923	1.1930
80	1.1938	1.1945	1.1953	1.1959	1.1967	1.1973	1.1980	1.1987	1.1994	1.2001
90	1.2007	1.2013	1.2020	1.2026	1.2032	1.2038	1.2049	1.2049	1.2055	1.2060
100	1.2065	1.2069	1.2073	1.2077	1.2081	1.2084	1.2087	1.2090	1.2093	1.2096

(Sumber : Suripin, 2004)

**Tabel 2. 4 Reduced variated (Y<sub>Tr</sub>)**

Periode Ulang Tr (tahun)	Reduced Variate (Y <sub>tr</sub> )	Periode Ulang Tr (tahun)	Reduced Variate (Y <sub>tr</sub> )
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	10000	9.2121

(Sumber : Suripin, 2004)

### 2.2.4.5 Distribusi Pearson Type III

Perhitungan Distribusi Pearson Type III sebagai berikut :

$$X_t = \bar{X}_i + K_T \times S_i \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

$X_t$  = Besarnya curah hujan untuk periode tahun berulang Tr (mm)

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

S atau SD = Standar deviasi dari data hujan X (mm)

$K_T$  = Faktor sifat distribusi Pearson Type III (bergantung dari nilai koefisien variasi Cs)

Cs = Koefisien skewness

### 2.2.4.6 Distribusi Log Pearson Type III

Perhitungan Distribusi Log Pearson Type III sebagai berikut :

$$\log X_t = \log \bar{X}_I + K_T \times S_i \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

$X_T$  = Besarnya curah hujan untuk periode tahun berulang  $T_r$  (mm)

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

S atau SD = Standar deviasi dari data hujan X (mm)

$K_T$  = Koefisien frekuensi

(bergantung pada koefisien kemencengan G)

**Tabel 2. 5 Nilai  $K_t$  untuk Distribusi Log-Pearson III**

Koef. G	Interval Kejadian (Periode Ulang)							
	1.0101	1.2500	2	5	10	25	50	100
	Presentasi Peluang Terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
0.0	-2.326	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.751	2.051	2.328
-0.2	-2.472	-0.83	0.033	0.850	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	-0.800	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
-3.0	-7.051	-0.420	0.369	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2. 6 Nilai Kt untuk Distribusi Log-Pearson III

Koef. G	Interval Kejadian (Periode Ulang)							
	1.0101	1.2500	2	5	10	25	50	100
	Presentasi Peluang Terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3.0	-0.667	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051
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	1.318	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	0.700	1.337	2.128	2.706	3.271
1.2	-1.449	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	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	0.78	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	2.471

(Sumber : Suripin, 2004)

Berikut merupakan parameter-parameter yang digunakan untuk menganalisis distribusi di atas:

- Rata – rata

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n xi \dots\dots\dots (2.14)$$

- Standar deviasi / Simpangan baku

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^3}{n-1}} \dots\dots\dots (2.15)$$

- Koefisien Variasi

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.16)$$

- Koefisien Skewness

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2).S^3} \dots\dots\dots (2.17)$$

- Koefisien Kurtosis / Ketajaman

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3) \cdot S^4} \dots\dots\dots (2.18)$$

**Tabel 2. 7 Karakteristik Distribusi Frekuensi**

<b>Jenis Distribusi Frekuensi</b>	<b>Syarat Distribusi</b>
Distribusi Normal	$C_s = 0$ dan $C_k = 3$
Distribusi Log Normal	$C_s > 0$ dan $C_k > 3$
Distribusi Gumbel	$C_s \leq 1,139$ dan $C_k \leq 5,402$
Distribusi Pearson III	$C_s \neq 0$ dan $C_v = 0,3$
Distribusi Log-Pearson III	$C_s$ antara 0 – 0,9

(Sumber : Suripin, 2004)

### 2.2.5 Uji Kecocokan Smirnov-Kolmogorov

Untuk mengetahui distribusi frekuensi yang memenuhi kriteria perencanaan maka dilakukan uji kecocokan. Pengujian kecocokan sebaran dengan metode Smirnov-Kolmogorov adalah untuk menguji apakah sebaran yang dipilih dalam pembuatan *duration curve* cocok dengan sebaran empirisnya. Prosedur dasarnya mencakup perbandingan antara probabilitas kumulatif lapangan dan distribusi kumulatif teori. Tahapan – tahapan dalam melakukan uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sebagai berikut :

- Data curah hujan harian diurutkan dari kecil ke besar.
- Menghitung besarnya harga probabilitas dengan persamaan Weibull.
- Dari grafik pengeplotan data curah hujan di kertas probabilitas akan didapat perbedaan maksimum antara distribusi teoritis dan empiris yang disebut dengan  $\Delta_{hit}$ . Harga  $\Delta_{hit}$  tersebut kemudian dibandingkan dengan  $\Delta_{cr}$  yang didapat dari tabel Smirnov-Kolmogorov untuk suatu derajat tertentu ( $\Delta$ ), di mana untuk bangunan-bangunan air harga  $\Delta$  diambil 5 %.

- Bila harga  $\Delta_{hit} < \Delta_{cr}$ , maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi masih dalam batas-batas yang diijinkan.

**Tabel 2. 8 Nilai Kritis Uji Smirnov-Kolmogorov**

n	Nilai kritis Smirnov-Kolmogorov (a)			
	0.2	0.1	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	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	$\frac{1.07}{n^{0.5}}$	$\frac{1.22}{n^{0.5}}$	$\frac{1.36}{n^{0.5}}$	$\frac{1.63}{n^{0.5}}$

(Sumber : Soewarno, 1995)

### 2.2.6 Analisis Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit maksimum yang mungkin terjadi pada suatu daerah dengan peluang kejadian tertentu. Untuk menaksir banjir rancangan digunakan hidrograf-hidrograf sintetis yang telah dikembangkan di negara-negara lain, dimana parameter-parameternya disesuaikan terlebih dulu dengan karakteristik daerah pengaliran yang ditinjau (Soemarto, CD, 1987 : 164).

Analisis debit banjir rencana dapat dilakukan dengan berbagai metode salah satunya dengan metode hidrograf satuan. Pada Sungai-sungai yang tidak ada atau sedikit sekali dilakukan observasi hidrograf banjirnya, maka perlu ditentukan karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut terlebih dahulu, misalnya waktu untuk mencapai puncak hidrograf, lebar dasar, luas DAS, kemiringan dasar sungai, panjang alur terpanjang (*Length of the longestt channel*), koefisien pengaliran (*run off coefficient*) dan sebagainya. Dalam penelitian ini metode yang

digunakan adalah Metode Nakayasu, Metode Snyder Alexejev, dan SCS (*Soil Conservation Service*).

### 2.2.6.1 Metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu

Berikut merupakan rumus Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu yang digunakan dalam perhitungan debit banjir rencana :

$$Q_p = \frac{C.A.R_0}{3,6(0,3T_p+T_{0,3})} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :

- $Q_p$  = Debit puncak banjir ( $m^3/s$ )
- $C$  = Koefisien Pengaliran
- $R_0$  = Hujan satuan (mm)
- $A$  = Luas daerah pengaliran sungai ( $km^2$ )
- $T_p$  = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak (jam)
- $T_{0,3}$  = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit sampai menjadi 30% dari puncak (jam)

$T_p$  dapat ditentukan menggunakan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$T_p = t_g + 0.8 t_r \dots\dots\dots (2.20)$$

$T_{0,3}$  merupakan waktu yang diperlukan oleh penurunan debit dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak dapat dihitung dengan persamaan :

$$T_{0,3} = \alpha \cdot t_g \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\alpha = \frac{0,47 (A.L)^{0,25}}{T_g} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

- $\alpha$  = Parameter hidrograf
- $\alpha$  = 2 (daerah pengaliran biasa)

$\alpha$  = 1,5 (bagian naik hidrograf lambat dan menurun dengan cepat)

$\alpha$  = 3 (bagian naik hidrograf cepat dan menurun dengan lambat)

Tr merupakan tenggang waktu yang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Tr = 0,5 \text{ tg sampai tg} \dots\dots\dots (2.23)$$

Tg merupakan waktu konsentrasi yang dipengaruhi oleh panjang alur sungai, dinyatakan dengan persamaan berikut :

Untuk  $L > 15$  km

$$Tg = 0,4 + 0,058 L \dots\dots\dots (2.24)$$

Untuk  $L < 15$  km

$$Tg = 0,21 L^{0,7} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

L = Panjang alur sungai (km)

Tg = Waktu konsentrasi (jam)

Untuk bagian lengkung naik (*rising limb*) dengan selang  $0 < t < Tp$ , hidrograf satuan memiliki rumus :

$$Qa = Qp \left[ \frac{t}{Tp} \right]^{2,4} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana :

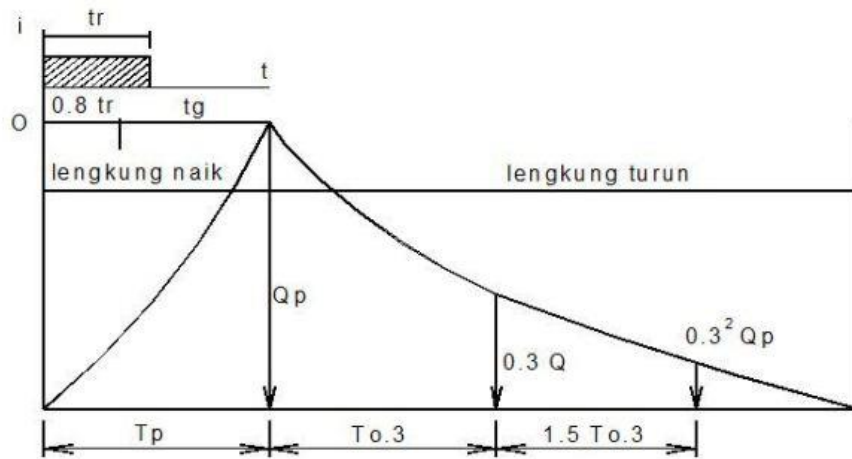
Qa = Limpasan sebelum mencapai debit puncak ( $m^3/s$ )

t = Waktu (jam)

Qp = Debit puncak banjir ( $m^3/s$ )

Tp = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak (jam)





**Gambar 2. 3 Sketsa Hidrograf Nakayasu**  
 (Sumber : [www.google.com](http://www.google.com))

Bagian lengkung/kurva turun (decreasing limb) mempunyai persamaan sebagai berikut :

- a. Untuk selang nilai  $T_p \leq t \leq (T_p + T_{0,3})$

$$Q_{d1} = Q_p 0,3^{(t-T_p)/T_{0,3}} \dots\dots\dots (2.27)$$

- b. Untuk selang nilai  $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_{d1} = Q_p \cdot 0,3^{(t-T_p+0,5T_{0,3})/(1,5T_{0,3})} \dots\dots\dots (2.28)$$

- c. Untuk selang nilai  $1,5T_{0,3} > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_{d1} = Q_p \cdot 0,3^{(t-T_p+1,5T_{0,3})/(2T_{0,3})} \dots\dots\dots (2.28)$$

**2.2.6.2 Metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Snyder**

Berikut merupakan rumus Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Snyder yang digunakan dalam perhitungan debit banjir rencana :

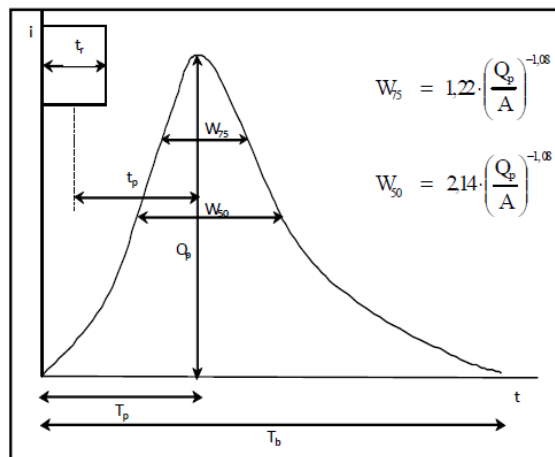
$$q_p = 0.278 \times \frac{C_p}{T_p} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$Q_p = q_p \times A \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana :

- Qp = Debit puncak (m<sup>3</sup>/det)
- qp = Debit maksimum hidrograf satuan (m<sup>3</sup>/det)
- Cp = Koefisien yang dipengaruhi waktu kelambatan (0,56 – 0,69)
- tp = Waktu dari titik berat curah hujan efektif hingga puncak banjir
- A = Luas DAS (km<sup>2</sup>)

Persamaan snyder berhubungan dengan tp, didefinisikan sebagai interval waktu dari titik tengah unit rainfall sampai puncak hidrograf satuan.



**Gambar 2. 4 Grafik HSS Snyder**

(Sumber : Chow, et al, 1988)

$$tp = Ct(L \cdot Lc)^{0,3} \dots\dots\dots (2.32)$$

Dimana :

- L = Panjang sungai (km)
- Lc = Panjang sungai dari hilir ke titik pusat DAS (km)
- Ct = Koefisien yang dipengaruhi kemiringan slope (1.35 – 1.65)

$$te = \frac{tp}{5,5} \dots\dots\dots (2.33)$$

Jika  $te > tr$  maka,

$$t'_p = tp + 0,25 (tc - tr) \dots\dots\dots (2.34)$$

sehingga didapat waktu untuk mencapai debit maksimum

$$T_p = t'_p + 0,5 \dots\dots\dots (2.35)$$

Jika  $t_r < t_R$  maka,

$$T_p = t_p + 0,5 \dots\dots\dots (2.36)$$

Sedangkan untuk menghitung waktu dasar hidrograf menggunakan persamaan berikut :

$$T_b = 72 + 3 t_p \dots\dots\dots (2.37)$$

Dimana :

- $T_p$  = Waktu untuk mencapai debit maksimum (jam)
- $t_p$  = Waktu dari titik berat curah hujan efektif hingga puncak banjir
- $t_e$  = Durasi hujan efektif (jam)
- $t'_p$  = Basin lag untuk durasi efektif dari  $t_R$  dan  $t_p$  (jam)
- $t_R$  = Waktu hujan standar (jam)
- $T_b$  = Waktu dasar hidrograf

Persamaan Alexeyev berikut membantu dalam penentuan bentuk dari hidrograf :

$$Q = Y \cdot Q_p \dots\dots\dots (2.38)$$

$$X = \frac{t}{T_p} \dots\dots\dots (2.39)$$

$$Y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}} \dots\dots\dots (2.40)$$

$$a = 1,32 \lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045 \dots\dots\dots (2.41)$$

$$\lambda = \frac{Q_p \cdot T_p}{A \cdot R} \dots\dots\dots (2.42)$$

Setelah  $\lambda$  dan  $a$  dihitung, maka nilai  $Y$  untuk masing-masing  $X$  dapat dihitung (dengan membuat tabel), sehingga diperoleh :  $t = X \cdot T_p$  dan  $Q = y \cdot Q_p$ , selanjutnya dibuat grafik hidrograf satuan.

### 2.2.6.3 Metode *Soil Conservation Service* (SCS) USA

Berikut merupakan rumus metode *soil conservation service* (SCS) yang digunakan dalam perhitungan debit banjir rencana :

$$Q_p = \frac{C A}{t_p} \dots\dots\dots (2.43)$$

Dimana :

$Q_p$  = Debit puncak hidrograf satuan ( $m^3/s$ )

$C$  = Konstanta = 2.08

$A$  = Luas daerah aliran ( $km^2$ )

$t_p$  = waktu kelambatan antara titik berat hujan sampai puncak (jam)

$$t_p = 0,6 T_c \dots\dots\dots (2.44)$$

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \dots\dots\dots (2.45)$$

$$t_r = \frac{2 t_p}{9} \dots\dots\dots (2.46)$$

$$T_c = 0.927 \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.47} \dots\dots\dots (2.47)$$

$$T_b = 2.67 T_p \dots\dots\dots (2.48)$$

Dimana :

$T_p$  = Waktu naik (*time of rise*) (jam)

$t_r$  = Lama terjadinya hujan efektif (jam)

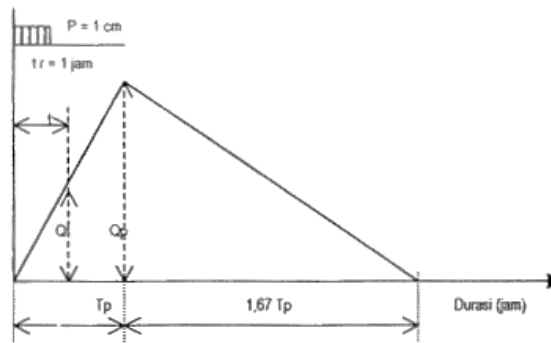
$T_c$  = Waktu konsentrasi (jam)

$T_b$  = Waktu dasar (jam)

$L$  = Panjang sungai (m)

$S$  = Kemiringan (slope) DAS =  $\Delta H/L$

$\Delta H$  = Perbedaan ketinggian antara titik terjauh di DAS dengan outlet



Gambar 2. 5 Hidrograf Satuan Sintetik SCS-USA

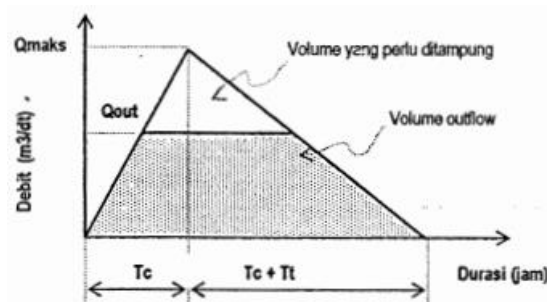
Tabel 2. 9 Nilai  $t/TP$  dan  $Q/Qp$  HSS SCS

$t/TP$	$Q/Qp$	$t/TP$	$Q/Qp$
0	0	2,0	0,32
0,1	0,015	2,2	0,24
0,2	0,075	2,4	0,18
0,3	0,16	2,6	0,13
0,4	0,28	2,8	0,098
0,5	0,43	3,0	0,075
0,6	0,6	3,5	0,036
0,7	0,77	4,0	0,018
0,8	0,89	4,5	0,009
0,9	0,97	5,0	0,004
1	1		
1,1	0,98		
1,2	0,92		
1,3	0,84		
1,6	0,75		

(Sumber : Bambang T, 2008)

### 2.2.7 Volume Limpasan Banjir

Volume limpasan banjir dapat dihitung dari hidrograf yang merujuk pada gambar berikut, dengan rumus perhitungan :



Gambar 2. 6 Hidrograf Limpasan

$$V = \frac{Q_{maks}}{2} (2T_c + T_t) \quad (2.49)$$

Dimana :

V = Volume limpasan banjir ( $m^3$ )

$Q_{maks}$  = Debit limpasan banjir maksimum ( $m^3/dtk$ )

$T_c$  = Waktu konsentrasi banjir naik (jam)

### 2.2.7.1 Volume Limpasan yang dapat dialirkan

Bila volume air bisa ditampung seluruhnya maka sebagian perlu dialirkan. Besarnya volume yang dapat dialirkan tergantung pada besarnya satuan/lubang pengeluaran seperti saluran, gorong-gorong atau outlet. Tidak seluruh volume ter-alirkan karena kapasitas debit outflow <  $Q_{maks}$ . Sisa volume tidak ter-alirkan disimpan dalam kolam sementara.

### 2.3 Kehilangan Air

Kehilangan air ( $m^3/dt$ ) diperhitungkan sebagai selisih antara debit inflow dan debit outflow untuk setiap ruas pengukuran (antar dua bangunan bagi) (Wigati, 2005).

$$h_n = I_n - O_n \dots\dots\dots (2.50)$$

Dimana :

$h_n$  = Kehilangan air pada ruas pengukuran/bentang saluran ke n ( $m^3 /det$ )

$I_n$  = Debit masuk ruas pengukuran ke n ( $m^3 /det$ )

$O_n$  = Debit keluar ruas pengukuran ke n ( $m^3 /det$ )

**2.3.1 Penguapan Air (Evaporasi)**

Evaporasi ialah penguapan air atau peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara. Besarnya penguapan dapat dihitung dengan rumus perhitungan Penman :

$$ET_o = ((W \times R_n) \times ((1-W) \times (e_a - e_d) f(U))) C \dots\dots\dots (2.51)$$

$$e_d = e_a \times Rh/100 \dots\dots\dots (2.52)$$

$$f(U) = 0,27 \left( 1 + \left( \frac{U}{100} \right) \right) \dots\dots\dots (2.53)$$

Dimana :

ET<sub>o</sub> = Evaporasi (mm/hari)

e<sub>a</sub> = Tenakan uap jenuh (mm/Hg)

e<sub>d</sub> = Tekanan uap nyata (mm/Hg)

U = Kecepatan angin rata-rata

f(U) = Fungsi angin relatif

W = Faktor berat, hubungan antara temperatur dengan altitude

C = Faktor penggantian kondisi cuaca akibat siang dan malam

**Tabel 2. 10 Values of Weighting Factor (W) at Different Temperatures and Altitudes**

Temperature °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
W at altitude																				
0	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.68	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78	0.8	0.82	0.83	0.84	0.85
50	0.432	0.462	0.492	0.522	0.552	0.582	0.611	0.641	0.661	0.682	0.711	0.731	0.751	0.771	0.781	0.801	0.82	0.831	0.841	0.851
500	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.6	0.62	0.65	0.67	0.7	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86
1000	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.8	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
2000	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88
3000	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.88	0.88	0.89
4000	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.76	0.78	0.79	0.81	0.83	0.84	0.85	0.86	0.88	0.89	0.9	0.9

(Sumber : Ir. Suyono Sosrodarsono, 1985)

Tabel 2. 11 Saturation Vapour Pressure Of Water

Temperature °C	ea (mbar)	Temperature °C	ea (mbar)
0	6	20	23
1	7	21	25
2	7	22	26
3	8	23	28
4	8	24	30
5	9	25	32
6	9	26	34
7	10	27	36
8	11	28	38
9	12	29	40
10	12	30	42
11	13	31	45
12	14	32	48
13	15	33	50
14	16	34	53
15	17	35	56
16	18	36	59
17	19	37	63
18	21	38	66
19	22	39	70

(Sumber : Ir. Suyono Sosrodarsono, 1985)

Tabel 2. 12 Adjustment Factor (C) in Presented Penman Equation

Rs mm/day Uday m/sec	Rhmax = 30%				Rhmax = 60%				Rhmax = 90%			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
	Uday/Night = 4											
0	0.86	0.9	1	1	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.1	1.1
3	0.79	0.84	0.92	0.97	0.92	1	1.11	1.19	0.99	1.1	1.27	1.32
6	0.68	0.77	0.87	0.93	0.85	0.96	1.11	1.19	0.94	1.1	1.26	1.33
9	0.55	0.65	0.78	0.9	0.76	0.88	1.02	1.14	0.88	1.01	1.16	1.27
	Uday/Night = 3											
0	0.86	0.9	1	1	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.1	1.1
3	0.76	0.81	0.88	0.94	0.87	0.96	1.05	1.12	0.94	1.04	1.18	1.28
6	0.61	0.68	0.81	0.88	0.77	0.88	1.02	1.1	0.86	1.01	1.15	1.22
9	0.46	0.56	0.72	0.82	0.67	0.79	0.88	1.05	0.78	0.92	1.06	1.18
	Uday/Night = 2											
0	0.86	0.9	1	1	0.96	0.98	1.03	1.05	1.02	1.06	1.1	1.1
3	0.69	0.76	0.85	0.92	0.83	0.91	0.99	1.05	0.89	0.98	1.1	1.14
6	0.53	0.61	0.74	0.84	0.7	0.8	0.94	1.02	0.79	0.92	1.05	1.12
9	0.37	0.43	0.65	0.76	0.59	0.7	0.84	0.95	0.71	0.81	0.96	1.06
	Uday/Night = 1											
0	0.86	0.9	1	1	0.96	0.98	1.03	1.05	1.02	1.06	1.1	1.1
3	0.64	0.71	0.82	0.89	0.78	0.86	0.94	0.99	0.85	0.92	1.01	1.05
6	0.43	0.53	0.68	0.79	0.62	0.7	0.84	0.93	0.72	0.82	0.95	1
9	0.27	0.41	0.59	0.7	0.5	0.6	0.75	0.87	0.62	0.72	0.87	0.96

(Sumber : Ir. Suyono Sosrodarsono, 1985)



Tabel 2. 13 Peninaran Radiasi Matahari Teoritis (Ra)

Lat	Northern Hemisphere											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
50	3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2
48	4.3	6.6	9.8	13	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5	3.7
46	4.9	7.1	10.2	13.3	16	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3
44	5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6	4.7
42	5.9	8.1	11	14	16.2	17.3	16.7	15	12.2	9.1	6.5	5.2
40	6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7	5.7
38	6.9	9	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10	7.5	6.1
36	7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8	6.6
34	7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2
32	8.3	10.2	12.8	15	16.5	17	16.8	15.6	13.6	11.2	9	7.8
30	8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3
28	9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12	9.9	8.8
26	9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3
24	10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7
22	10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13	11.1	10.2
20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7
18	11.6	13	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12	11.1
16	12	13.3	14.7	15.6	16	15.9	15.9	15.7	15	13.9	12.4	11.6
14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12
12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9
8	13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
6	13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15	14.2	13.7
4	14.3	15	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
2	14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
0	15	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Lat	Southern Hemisphere											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
50	17.5	14.7	10.9	7	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2
48	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4	6	9.3	13.2	16.6	18.2
46	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
44	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
42	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14	16.8	18.3
40	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11	14.2	16.9	18.3
38	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17	18.3
36	17.9	16	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17	18.2
34	17.8	16.1	13.5	10.5	8	6.8	7.2	9.2	12	14.9	17.1	18.2
32	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
30	17.8	16.4	14	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13	15.4	17.2	17.9
26	17.6	16.4	14.4	12	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10	11.6	13.7	15.7	17	17.5
20	17.3	16.5	15	13	11	10	10.4	12	13.9	15.8	17	17.4
18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12	16.6	16.3	15.4	14	12.5	11.6	12	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16	16
6	15.8	16	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14	15	15.7	15.8	15.7
4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
0	15	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

(Sumber : Ir. Suyono Sosrodarsono, 1985)

### 2.3.2 Penyerapan (Infiltrasi)

Besarnya penyerapan dapat dihitung dengan rumus perhitungan Moritz (USBR) :

$$S = 0.035 C \sqrt{\frac{Q}{v}} \dots\dots\dots (2.54)$$

Dimana :

S = Kehilangan akibat rembesan (m<sup>3</sup>/det)

Q = Debit (m<sup>3</sup>/dtk)

V = Kecepatan (m/dtk)

C = Koefisien tanah rembesan (m/hari)

0.035 = Faktor konstanta (m/km)

**Tabel 2. 14 Harga-harga Koefisien Tanah Rembesan (C)**

<b>Jenis Tanah</b>	<b>Harga C (m/hari)</b>
Kerikil sementasi dan lapisan penahan	0,10
(Hardpan) dengan geluh pasiran	0,12
Lempung dan geluh lempung Geluh pasiran	0,20
Abu vulkanik atau lempung	0,21
Pasir dan abu vulkanik atau lempung	0,37
Lempung pasiran dengan batu	0,51
Batu pasiran dan kerikilan	0,67

(Sumber : *Teknologi Pengairan Pertanian (Irigasi)*, 1994)

### 2.4 Kolam Retensi

Kolam retensi adalah suatu bangunan/konstruksi yang berfungsi untuk menampung air hujan sementara waktu dengan memberikan kesempatan untuk dapat meresap ke dalam tanah yang operasionalnya dapat dikombinasikan dengan pompa atau pintu air, selanjutnya akan dilepas kembali ke sungai (Perpustakaan Kementerian PU, 2010).

Fungsi kolam ini adalah menyimpan sementara debit sungai sehingga puncak banjir dapat dikurangi. Tingkat pengurangan banjir tergantung pada karakteristik hidrograf banjir, volume kolam dan dinamika beberapa bangunan outlet. Wilayah yang digunakan sebagai kolam retensi biasanya di daerah dataran rendah atau rawa. Untuk strategi pengendalian yang andal diperlukan (Kodoatie, 2013) :

- Pengontrolan yang memadai untuk menjamin ketepatan peramalan banjir
- Peramalan banjir yang andal dan tepat waktu untuk perlindungan atau evakuasi
- Sistem drainase yang baik untuk mengosongkan air dari daerah tampungan secepatnya setelah banjir reda

#### 2.4.1 Tipe Kolam Retensi

Beberapa tipe kolam retensi, antara lain :

- a) Kolam retensi tipe di samping badan sungai



**Gambar 2. 7 Kolam Retensi Tipe di Samping Badan Sungai**

(Sumber : Dirjen Cipta Karya, 2010)

Kolam tipe ini memiliki bagian-bagian kolam retensi, pintu inlet, bangunan pelimpah samping, pintu outlet, jalan akses menuju kolam retensi, ambang rendah

di depan pintu outlet, saringan sampah, kolam penangkap sedimen. Tipe ini dapat digunakan jika tersedia lahan untuk kolam retensi di samping badan sungai. Keunggulan tipe ini adalah kapasitas bisa optimal bila lahan tersedia, tidak mengganggu sistem aliran yang ada, pemeliharaan lebih mudah, pelaksanaan lebih mudah.

b) Kolam retensi tipe di dalam badan sungai

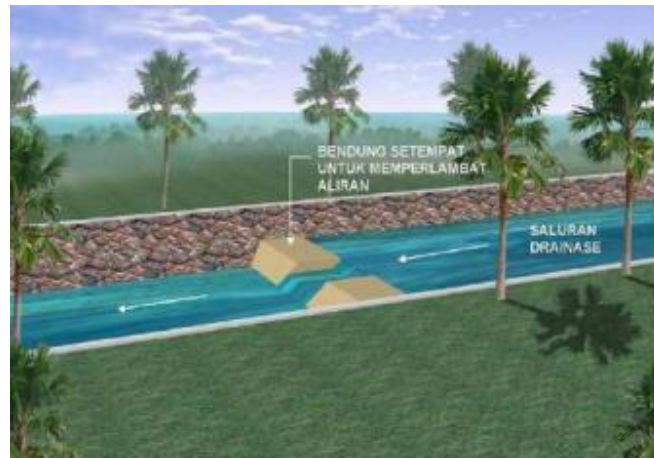


**Gambar 2. 8 Kolam Retensi Tipe di Dalam Badan Sungai**

(Sumber : Dirjen Cipta Karya, 2010)

Kolam tipe ini memiliki bagian-bagian kolam retensi, tanggul keliling, pintu outlet, bendung, saringan sampah, kolam penangkap sedimen. Tipe ini dapat digunakan jika lahan untuk kolam retensi sulit didapat. Kekurangan tipe ini adalah kapasitas kolam retensi terbatas, mengganggu aliran yang ada di hulu, pelaksanaan lebih sulit, pemeliharaan lebih mahal.

c) Kolam retensi tipe storage memanjang



**Gambar 2. 9 Kolam Retensi Tipe Storage Memanjang**

(Sumber : Dirjen Cipta Karya, 2010)

Kolam tipe ini memiliki saluran yang lebar dan dalam, cek dam/bendung setempat. Tipe ini dapat digunakan jika lahan tidak tersedia sehingga mengoptimalkan saluran drainase yang ada. Kekurangan tipe ini adalah kapasitasnya terbatas, mengganggu aliran yang ada, pelaksanaan lebih sulit.

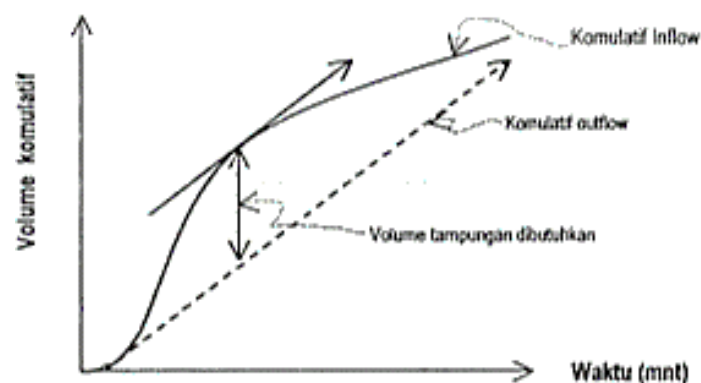
Faktor yang mempengaruhi dimensi kolam tampungan (Suripin, 2004) :

1. Luas permukaan penutupan, yaitu lahan yang limpasannya akan ditampung dalam kolam.
2. Karakteristik hujan, meliputi intensitas hujan, lama hujan, dan selang waktu hujan. Semakin tinggi dan lama berlangsungnya hujan maka memerlukan volume tampungan yang semakin besar.
3. Permeabilitas tanah, yaitu kemampuan tanah untuk melewatkan air persatuan waktu.

### 2.4.2 Perhitungan Luas Kolam Penampung

Untuk mendapatkan luas kolam penampung yang dibutuhkan, maka dilakukan analisis menggunakan data volume kumulatif banjir (*inflow*) dan data pengeluaran (*outflow*). Urutan langkah kegiatan perhitungan kolam penampung :

1. Hitung debit puncak banjir dan gambarkan hidrograf banjir
2. Hitung volume kumulatif dengan selang waktu menit (*Inflow*)
3. Asumsikan *outflow* tetap, hitung kumulatif *outflow*
4. Dari hidrograf banjir, hitung volume air kumulatif dengan selang waktu menit
5. Dengan menggambarkan grafik kurva massa kumulatif *inflow* dan *outflow*, selanjutnya membuat garis sejajar *outflow* yang bersinggungan dengan puncak kurva air masuk, menarik garis tegak menghubungkan titik singgung dan garis kumulatif *outflow*, garis ini adalah volume total air yang harus ditampung
6. Dengan volume dan batasan tinggi muka air maksimum dikolam, maka luas kolam dapat ditentukan



Gambar 2. 10 Kurva Massa Kumulatif Inflow, Outflow, dan Volume Tampungan

Ukuran ideal suatu kolam retensi adalah dengan perbandingan panjang/lebar lebih besar dari 2:1.

Sedang dua kutub aliran masuk (inlet) dan keluar (outlet) terletak kira-kira di ujung kolam berbentuk bulat telur itulah terdapat kedua "mulut" masuk dan keluarnya (aliran) air.

Dimensi kolam penampungan ini didasarkan pada volume air akibat hujan selama  $t$  menit yang telah ditentukan, artinya jika hujan sudah mencapai  $t$  menit, maka pompa harus sudah dioperasikan sampai elevasi muka tanah yang lebih rendah dari muka air laut dan muka air banjir di sungai menyebabkan daerah tersebut tidak dapat dilayani oleh drainase sistem gravitasi. Maka daerah tersebut perlu dilengkapi dengan stasiun pompa. Pompa ini berfungsi untuk membantu mengeluarkan air dari kolam penampung banjir maupun langsung dari saluran drainase pada saat air tidak dapat mengalir secara gravitasi.

#### **2.4.3 Efektivitas Kolam Retensi**

Perhitungan efektivitas kolam retensi dapat ditentukan dengan cara membandingkan volume banjir yang masuk ke kolam dengan kapasitas yang tersedia.

$$Efektivitas = \frac{Kapasitas\ kolam}{Volume\ banjir} \times 100\% \dots\dots\dots (2.55)$$

#### **2.5 Normalisasi Sungai**

Perbaikan saluran/sungai meliputi normalisasi dan rehabilitasi saluran. Normalisasi saluran dilakukan apabila dimensi saluran tidak seragam dan terjadi penyempitan di beberapa ruas tengah yang mengakibatkan pengurangan kapasitas dan menghambat laju aliran. Rehabilitasi diperlukan untuk mengembalikan fungsi saluran sebagaimana mestinya yaitu dengan memperbaiki tebing/talud saluran yang rusak misalnya. Pemeliharaan saluran memegang peranan penting dalam

penanganan banjir. Dangkalnya saluran akibat sedimentasi menyebabkan berkurangnya kapasitas saluran yang pada akhirnya berakibat banjir.

## **2.6 Pemodelan Hidrolika HEC-RAS 5.0.7**

Tujuan dari pemodelan ini untuk mendapatkan gambaran kondisi eksisting kolam retensi dan sungai-sungai yang berpengaruh di sekitar daerah penelitian, apakah melebihi kapasitas atau mencukupi. Ketika kapasitas tidak mencukupi dalam hal ini terjadi banjir maka dapat menghasilkan alternatif penanganan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Program yang digunakan untuk pemodelan ini adalah HEC-RAS 5.0.7.

HEC-RAS adalah sebuah sistem software yang didesain untuk melakukan berbagai analisis hidrolika. HEC-RAS mampu menampilkan perhitungan penampang muka air 1 dimensi untuk aliran dalam saluran alami atau buatan. HEC-RAS juga mampu memperhitungkan penampang muka air aliran subkritis, superkritis, dan campuran (*mixed flow*). Sistem ini mengandung 3 komponen analisis hidrolik satu dimensi yaitu, perhitungan penampang muka aliran tetap (*study flow*), aliran tidak tetap (*unsteady flow*), dan perhitungan transportasi sedimen. Terdapat beberapa langkah dalam membuat pemodelan menggunakan HEC-RAS yaitu :

1. Memulai proyek baru
2. Input geometri data
3. Input data aliran dan kondisi batas
4. Melakukan perhitungan hidrolika (*run program*)
5. Menampilkan dan mencetak hasil

Data yang diperlukan dalam analisis hidrolika ini yaitu data penampang memanjang dan melintang sungai, data debit sungai, dan nilai manning penampang sungai.



## **2.7 Penelitian Terdahulu**

### **2.7.1 Perencanaan Kolam Retensi Sebagai Usaha Mereduksi Banjir Sungai Citarum Hulu, Kabupaten Bandung (Bima Adhi Baskoro dkk, 2018)**

Penelitian ini dilatar belakangi oleh banjir yang menggenangi 3 Kecamatan, yaitu Baleendah, Dayehkolot, dan Bojongsoang diakibatkan oleh debit yang melebihi kapasitas sungai Citarum Hulu sehingga meluap, maka dari itu dibutuhkan suatu upaya pengendalian banjir, salah satunya kolam retensi dengan tujuan mereduksi banjir. Pada studi ini, dilakukan analisa hidrologi dan analisa hidrolika pada kondisi eksisting dengan banjir kala ulang 50 tahun untuk mengetahui seberapa besar dampak banjir dengan menggunakan bantuan program HEC-RAS 5.0.3.

Berdasarkan hasil perbandingan hasil analisa kondisi eksisting dengan kondisi setelah adanya pengendalian banjir dengan perencanaan kolam retensi, mengalami reduksi sekitar 7%.

### **2.7.2 Evaluasi Kapasitas Sungai Citarum Hulu (Sapan-Nanjung) Dengan Menggunakan Hec Ras 4.0 (Enung, 2013)**

Pada penelitian ini, evaluasi kapasitas Sungai Citarum dilakukan simulasi menggunakan program HEC-RAS 4.0. Penelitian ini dilatar belakangi oleh banjir yang selalu terjadi di sepanjang sungai Citarum ketika musim hujan, terutama di Sub DAS Citarum Hulu. Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukan penelitian mengenai kinerja kapasitas sungai Citarum dalam kondisi eksisting dan perencanaan pengendalian banjir.

Metode penelitian yang digunakan yaitu analisis hidrologi dan analisis hidrolika menggunakan program HEC-RAS dengan melakukan simulasi aliran untuk berbagai skenario pengendalian banjir.

Hasil dari simulasi ini menunjukkan kapasitas penampang sungai yang ditinjau tidak dapat menampung debit puncak dan terjadi limpasan aliran di sepanjang sungai. Penanganan dengan cara normalisasi dapat mengurangi elevasi muka air maksimum, tetapi hanya 21,62% *river station* (RS) yang mampu menampung debit kala ulang 50 tahun dan 100 tahun. Pengendalian banjir berikutnya dilakukan dengan tanggul banjir di RS yang masih terjadi limpasan.

### **2.7.3 Analisa Daya Tampung Kolam Retensi Untuk Penanggulangan Banjir Di Daerah Maskarebet Kec. Alang – Alang Lebar Palembang (Ir. H Sudirman Kimi, M.T., 2015)**

Penelitian ini dilatar belakangi oleh kota Palembang yang merupakan daerah dengan elevasi tanah rendah sering terjadi banjir, salah satu cara untuk mengatasi permasalahan banjir yang terjadi dikota Palembang ini dengan membangun kolam retensi. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kapasitas daya tampung kolam retensi yang seharusnya di tampung sebesar 6283054,69 m<sup>3</sup>, sedangkan volume kolam retensi saat ini hanya mampu menampung 7516,6 m<sup>3</sup>, maka kolam akan mengalami banjir apa bila hujan deras selama 4,30 jam.

### **2.7.4 Analisis Perencanaan Lahan Kolam Retensi di Kawasan Semanggi Kota Surakarta (Aziz Nugroho dkk, 2017)**

Penelitian ini dilatar belakangi oleh tingginya curah hujan dan kurangnya daerah resapan menyebabkan daerah aliran sungai (DAS) Kali Premulung di Semanggi sering mengalami bencana banjir. Sehingga upaya yang dilakukan untuk mengurangi volume banjir adalah dengan kolam retensi.

Hasil analisis didapatkan kapasitas kolam retensi dengan kedalaman 2 meter adalah 20.000 m<sup>3</sup>. Kapasitas tersebut dapat tercapai setelah menit ke 152,6 dan efektivitas kolam retensi terhadap debit banjir puncak pada menit ke 360 adalah 6,61%. Luas perencanaan kolam retensi secara keseluruhan adalah 26.650 m<sup>2</sup>. Luasan diperuntukkan kolam penampungan adalah 10.000 m<sup>2</sup>, bangunan pengelola seluas 5.766 m<sup>2</sup>, serta taman dan wahana seluas 10.884 m<sup>2</sup>.

### **2.7.5 Reduksi Banjir Menggunakan Kolam Retensi Di Sungai Bakalan, Kabupaten Jepara (Sunu Ardhi N dkk, 2017)**

Penelitian ini dilatar belakangi oleh Sungai Bakalan yang merupakan sungai kategori kelas limpasan ekstrim sehingga menimbulkan banjir yang melimpas tanggul sungai. Metode penelitian yang digunakan yaitu analisis hidrologi dan analisis hidrolika kemudian pemodelan penelusuran banjir kondisi eksisting dan kondisi penambahan kolam retensi menggunakan program HEC-RAS.

Hasil penelusuran banjir menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting terjadi banjir di RS 44 akibat Q50 dan Q-2 harian sehingga direncanakan kolam retensi pada lokasi kanan RS 44 dengan luas 60.000 m<sup>2</sup> dan elevasi +17 m. Dengan kolam retensi, hasil penelusuran banjir menunjukkan bahwa Sungai Bakalan dapat menampung debit banjir maksimum dengan volume simpanan kolam retensi untuk Q50 dan Q2 harian berturut-turut sebesar 91.480 m<sup>3</sup> dan 199.890 m<sup>3</sup>. Volume ini setara dengan penurunan banjir masing-masing 12,23% dan 22,24%.