

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 UMUM**

Sungai merupakan suatu alur panjang di permukaan bumi tempat mengalirnya air yang berasal dari hujan. Pemanfaatan sungai sebagian besar digunakan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, pertanian, dan bagi alam sebagai pendukung utama kehidupan flora dan fauna yang berada disekitarnya. Dampak positif yang diberikan sungai bagi lingkungannya sangat besar, akan tetapi terdapat pula dampak negatif yaitu banjir. Banjir adalah suatu kejadian disaat air menggenang disuatu kawasan dan sudah melebihi elevasi daratan. Banjir bisa terjadi karena adanya luapan air sungai, ataupun luapan dari penampungan air yang sudah kelebihan volume. Salah satu penyebab terjadinya banjir adalah kerusakan sungai. Kerusakan suatu daerah aliran sungai dapat dilihat dari segi keruhnya air sungai, disamping adanya indikasi berkurangnya debit air sungai pada musim kemarau dan banjir pada musim hujan. Penentuan tingkat permulaan terjadinya kerusakan tebing agak sukar diketahui, tetapi dengan mengetahui besarnya curah hujan rata-rata setiap tahun dapat dijadikan sebagai suatu pendugaan awal akan adanya banjir yang mengakibatkan terjadinya gerusan arus sungai yang sangat besar dapat merusak tebing disekitar sungai dan mudah tererosi sehingga banyak membawa sedimen dan mengakibatkan bahaya banjir pada daerah pemukiman. Untuk menghitung berapa besar banjir yang terjadi bisa dilakukan dengan cara melakukan perhitungan secara empiris yaitu analisis hidrologi.

#### **2.2 Morfologi Sungai**

Sifat-sifat suatu sungai dipengaruhi oleh luas, dan bentuk daerah pengaliran serta kemiringannya. Topografi suatu daerah sangat berpengaruh terhadap morfologi sungai yang ada, daerah dengan bentuk pegunungan pendek-pendek mempunyai daerah pengaliran yang tidak luas dan kemiringan dasarnya besar. Sebaliknya daerah dengan kemiringan dasarnya kecil biasanya mempunyai daerah pengaliran yang luas. Kategori kelas bentuk sungai yang umum diperkenalkan oleh Leopold dan Wolman (1957) adalah sungai berkelok (meandering), sungai berburai (braided), dan sungai lurus (straight).

### 2.2.1 Sungai Berkelok (Meandering Reaches)

Sungai yang mengandung aliran satu arah dengan kelokan-kelokan yang tajam. Bentuk geometrik sungai cenderung berubah seiring waktu menyesuaikan dengan erosi pengendapan yang terjadi.



**Gambar 2.1** *Meandering Reaches*  
(Sumber : Google Image)

### 2.2.2 Sungai Berburai (Braided Reaches)

Sungai berburai (braided reaches) adalah sungai yang terbentuk dari saluran-saluran kecil yang saling terhubung tidak beraturan. Sungai ini ditandai dengan sedimentasi yang relative tinggi di beberapa titik sehingga membentuk aliran- aliran kecil baru dimana mempunyai aliran atau arus yang bervariasi. Sungai dengan tipe ini umumnya memiliki perbedaan kemiringan yang relative tinggi dan lereng/tebingnya tidak stabi serta kurang bervegetasi.



**Gambar 2.2** *Braided Reaches*  
(Sumber : Google Image)

### 2.2.3 Sungai Lurus (Straight Reaches)

Sungai lurus adalah sungai yang bentuk alinemen sungainya relative lurus tanpa kelokan. Sungai jenis ini umumnya memiliki kemiringan lereng yang hamper datar, atau curam yang mengakibatkan kecepatan aliran yang tinggi.



**Gambar 2.3** *Straight Reaches*  
(Sumber : Google Image)

#### **2.2.4** Sungai Permanen

Sungai permanen yaitu sungai yang debit airnya sepanjang tahun relatif tetap. Contoh sungai jenis ini adalah sungai Kapuas, Kahayan, Barito dan Mahakam di Kalimantan. Sungai Musi, Batanghari dan Indragiri di Sumatera.



**Gambar 2.4** : Sungai Permanen  
(Sumber : Google Image)

#### **2.2.5** Sungai Periodik

Sungai Periodik, yaitu sungai yang hanya berair pada musim penghujan. Contoh sungai jenis ini banyak terdapat di pulau Jawa dan Nusa Tenggara.



**Gambar 2.5** : Sungai Periodik  
(Sumber : Google)

### 2.2.6 Sungai Episodik

Sungai Intermittent atau Sungai Episodik, yaitu sungai yang pada musim kemarau airnya kecil tetapi tetap mengalir dan pada musim hujan airnya banyak. Contoh sungai jenis ini adalah sungai Kalada di pulau Sumba.



**Gambar 2.6** : Sungai Episodik

(Sumber : Google)

## 2.3 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan untuk dapat menyusun suatu desain rinci pengendalian banjir, salah satu faktor yang sangat penting adalah penentuan debit banjir rencana. Dari debit banjir rencana tersebut bisa didapatkan analisis frekuensi dan data hasil pencatatan debit banjir maksimum tahunan. Besarnya debit banjir rencana yang digunakan untuk desain hidraulik ini akan digunakan debit banjir dengan kala ulang seperti yang tercantum dalam Pedoman Pengendalian Banjir.

### 2.3.1 Analisis Frekuensi

Dalam sistem hidrologi kadang-kadang dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa yang luar biasa (ekstrim), seperti hujan lebat, banjir, dan kekeringan. Besaran peristiwa ekstrim berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya, peristiwa yang luar biasa ekstrim kejadiannya sangat langka. Tujuan dari analisis frekuensi data hidrologi yaitu, berhubungan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan.

Ferkuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Kala ulang (*return period*) adalah waktu hipotetik di mana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Pengertian ini bukan berarti bahwa kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap kala-ulang tersebut. Misalnya, hujan dengan kala ulang 10 tahun, tidak berarti akan terjadi sekali dalam 10 tahun akan tetapi ada kemungkinan dalam jangka waktu 1000 tahun akan terjadi 100 kali kejadian hujan 10 tahunan. Ada kemungkinan selama kurun waktu 10- tahun terjadi hujan 10- tahunan lebih dari satu kali, atau tidak terjadi sama sekali.

Dalam statistik, dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi dan yang banyak digunakan dalam hidrologi, yaitu :

- 1) Distribusi Normal,
- 2) Distribusi Log-Normal,
- 3) Distribusi E<sub>j</sub> Gumbel, dan
- 4) Distribusi Log-Pearson III.

Dalam analisis frekuensi data hidrologi baik data hujan maupun data debit sungai terbukti bahwa sangat jarang dijumpai seri data yang sesuai dengan distribusi normal. Sebaliknya, sebagian besar data hidrologi sesuai dengan dua distribusi lainnya.

Masing-masing distribusi memiliki sifat-sifat tersendiri sehingga data hidrologi harus diuji kesesuaiannya dengan sifat statistik masing-masing distribusi tersebut. Pemilihan distribusi yang tidak tepat dapat mengundang kesalahan perkiraan yang kemungkinan cukup besar, baik *over estimated* maupun *under estimated* yang keduanya tidak diinginkan. Dengan demikian, jelas bahwa pengambilan salah satu distribusi secara sembarang untuk pengujian tanpa analisis terlebih dahulu sangat tidak dianjurkan, meskipun dalam praktek harus diakui bahwa besar kemungkinan distribusi didominasi oleh distribusi tertentu. Dikhawatirkan cara ini akan dianggap sebagai cara rutin, karena jelas mengandung resiko penyimpangan yang tidak dikehendaki.

Untuk mamahami fenomena acak, seperti debit sungai, menuntut kecocokan fungsi probabilitas tertentu pada nilai-nilai observasi yang ada. Analisis probabilitas ini berguna untuk menganalisis pengulangan suatu kejadian dengan tujuan menyimpulkan sifat-sifat populasi dengan menggunakan urutan pengamatan hidrologi. Dari berbagai penelitian, dapat dikatakan bahwa tidak pernah diperoleh suatu distribusi teoritis yang dapat digunakan bagi semua jenis aliran sungai. Hal ini disebabkan setiap aliran sungai mempunyai karakteristik statistik yang berbeda pada ruang dan waktu yang berbeda.

Bergantung dari jenis analisis yang dibutuhkan (analisis debit rata-rata, debit kering, debit banjir), jenis distribusi frekuensi yang banyak digunakan :

- 1) Analisis debit banjir
  - a) Distribusi ekstrim tipe I (E<sub>j</sub> Gumbel Type I)
  - b) Distribusi ekstrim tipe II (Frechet)
  - c) Distribusi Log-Person Type III
  - d) Distribusi Log-Normal.
- 2) Analisis debit bulanan atau tahunan
  - a) Distribusi Log-Normal

- b) Distribusi Normal
  - c) Distribusi Gamma.
- 3) Analisis debit kering
- a) Distribusi ekstrim tipe III (Weibull atau E<sub>j</sub> Gumbel Type III)
  - b) Distribusi Log-Pearson Type III
  - c) Distribusi Log-Normal.

Distribusi statistik unumumnya dapat dinyatakan dengan memanfaatkan sampel yang jumlahnya ribuan. Pada aliran sungai, sampel-sampel semacam itu tidak pernah diperoleh dan tidak memungkinkan untuk memastikan bahwa suatu distribusi tertentu dapat digunakan untuk memastikan puncak-puncak banjirnya. Banyak distribusi yang dapat digunakan. Meskipun dilakukan penelitian, tidak ada distribusi banjir yang benar-benar sesuai dengan distribusi tertentu. Setidak-tidaknya secara intuitif, dapat dikatakan bahwa tidak ada alasan suatu distribusi tunggal yang dapat digunakan untuk semua aliran sungai di seluruh dunia. Log-Pearson Type III telah dipakai oleh Badan Federal AS untuk analisis banjir. Distribusi E<sub>j</sub> Gumbel direkomendasikan untuk digunakan di Inggris.

**2.3.1.1 Distribusi Normal**

Distribusi normal atau dikenal sebagai distribusi merupakan distribusi probabilitas yang paling sering digunakan. Distribusi normal atau kurva normal disebut pula distribusi *Gauss*. Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, serta debit rata-rata tahunan. Rumus yang digunakan dalam perhitungan :

$$X_T = \bar{X} + K_T Sd \dots\dots\dots(2.1)$$

Jadi,

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{Sd} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$X_T$  = curah hujan rencana (mm)

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

$Sd$  = standar deviasi data hujan maksimum tahunan (mm)

$K_T$  = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang (Tabel 2.1).

**Tabel 2.1** Nilai Variabel Reduksi Gauss

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

(Sumber : Bonnier, 1980)

**2.3.1.2 Distribusi Log-Normal**

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari Distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X. Jika variabel acak  $Y = \text{Log } X$  terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti distribusi Log-Normal. Dengan demikian dapat dinyatakan dengan persamaan matematik sebagai berikut :

$$Y_T = \dot{Y} + K_T Sd \dots\dots\dots(2.3)$$

Jadi,

$$K_T = \frac{Y_T - \dot{Y}}{Sd} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan,

$$Sd = \sqrt{\sum_{i=1}^n \dots\dots\dots}$$

Di mana :

$Y_T$  = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahun

- $\dot{Y}$  = curah hujan maksimum rata-rata (mm)
- $Sd$  = standar deviasi data hujan maksimum tahunan (mm)
- $K_T$  = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang (Tabel 2.01).

**2.3.1.3 Distribusi Ej Gumbel**

Distribusi Tipe I *Ej Gumbel* atau Distribusi Extrim Type I umumnya digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir. Rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

$$X_T = \dot{X} + K Sd \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan :

- $\dot{X}$  = curah hujan maksimum rata-rata (mm);
- $Sd$  = standar deviasi (mm).

Faktor frekuensi  $K$  untuk nilai-nilai ekstrim Gumbel ditulis dengan rumus berikut ini :

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- $Y_n$  = *reduced mean* yang tergantung jumlah sampel/data (n)
- $S_n$  = *reduced standard deviation* yang juga tergantung jumlah sampel/data (n)
- $Tr$  = fungsi waktu balik (tahun)
- $Y_{Tr}$  = *reduced variate* yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$Y_{Tr} = -\ln \left( \frac{-Tr - 1}{Tr} \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

Nilai-nilai  $Y_{Tr}$ ,  $Y_n$  dan  $S_n$  masing-masing dapat ditentukan berdasarkan pada Tabel 2.2, Tabel 2.3, dan Tabel 2.4 berikut.

**Tabel 2.2** Reduced Variate, Ytr

Periode ulang, Tr (tahun)	Reduced variate, Ytr
2	0.3668
5	1.5004



10	2.2510
20	2.9709
25	3.1993
50	3.9028
75	4.3117
100	4.6012
200	5.2969
250	5.5206
500	6.2149
1000	6.9087
5000	8.5188
10000	9.2121

(Sumber : Suripin, 2004; Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan : 52)

**Tabel 2.3** Reduced Mean, Yn

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.495 2	0.499 6	0.503 5	0.507	0.51	0.512 8	0.515 7	0.518 1	0.520 2	0.522
20	0.523 6	0.525 2	0.526 8	0.528 3	0.529 6	0.530 9	0.532	0.533 2	0.534 3	0.535 3
30	0.536 2	0.537 1	0.538	0.538 8	0.839 6	0.540 3	0.541	0.541 8	0.542 4	0.543 6
40	0.543 6	0.544 2	0.544 8	0.545 3	0.545 8	0.546 3	0.546 8	0.547 3	0.547 7	0.548 1
50	0.548 5	0.548 9	0.549 3	0.549 7	0.550 1	0.550 4	0.550 8	0.551 1	0.551 5	0.551 8
60	0.552 1	0.552 4	0.552 7	0.553	0.553 3	0.553 5	0.553 8	0.554	0.554 3	0.554 5
70	0.554 8	0.555	0.555 2	0.555 5	0.555 7	0.555 9	0.556 1	0.556 3	0.556 5	0.556 7
80	0.556 9	0.557	0.557 2	0.557 4	0.557 6	0.557 8	0.558	0.558 1	0.558 3	0.558 5
90	0.558 6	0.558 7	0.558 9	0.559 1	0.559 2	0.559 3	0.559 5	0.559 6	0.559 8	0.559 9
100	0.560	0.560 2	0.560 3	0.560 4	0.560 6	0.560 7	0.560 8	0.560 9	0.561	0.561 1

(Sumber : Suripin, 2004; Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan : 51)

**Tabel 2.4** Reduced Standard Deviation, Sn

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

10	0.949 6	0.967 6	0.983 3	0.997 1	1.009 5	1.020 6	1.031 6	1.041 1	1.049 3	1.056 5
20	1.062 8	1.069 6	1.075 4	1.081 1	1.086 4	1.091 5	1.096 1	1.100 4	1.104 7	1.108
30	1.112 4	1.115 9	1.119 3	1.122 6	1.125 5	1.128 5	1.131 3	1.133 9	1.136 3	1.138 8
40	1.141 3	1.143 6	1.145 8	1.148	1.149 9	1.151 9	1.153 8	1.155 7	1.157 4	1.159
50	1.160 7	1.162 3	1.163 8	1.165 8	1.166 7	1.168 1	1.169 6	1.170 8	1.172 1	1.173 4
60	1.174 7	1.175 9	1.177	1.178 2	1.179 3	1.180 3	1.181 4	1.182 4	1.183 4	1.184 4
70	1.185 4	1.186 3	1.187 3	1.188 1	1.189	1.189 8	1.190 6	1.191 5	1.192 3	1.193
80	1.193 8	1.194 5	1.195 3	1.195 9	1.196 7	1.197 3	1.198	1.198 7	1.199 4	1.200 1
90	1.200 7	1.201 3	1.202	1.202 6	1.203 2	1.203 8	1.204 4	1.204 9	1.205 5	1.206
100	1.206 5	1.206 9	1.207 3	1.207 7	1.208 1	1.208 4	1.208 7	1.209	1.209 3	1.209 6

(Sumber : Suripin, 2004; Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan : 52)

### 2.3.1.4 Distribusi Log-Pearson Tipe III

Distribusi Log-Pearson III adalah salah satu dari kumpulan yang diusulkan oleh Pearson (Pearson, 1930). Cara yang dianjurkan dalam pemakaian distribusi Log-Pearson adalah dengan mengkonversi rangkaian datanya menjadi bentuk logaritmik dan melakukan perhitungan. Distribusi Log-Pearson Type III atau Distribusi Extrim Type III digunakan untuk analisis variable hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis frekuensi distribusi dari debit minimum (*low flows*).

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

- 1) Mengubah data curah hujan sebanyak n buah  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  menjadi  $\log(X_1), \log(X_2), \log(X_3), \dots, \log(X_n)$ .
- 2) Menghitung harga rata-ratanya dengan rumus :

$$\log(\bar{X}) = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i)}{n} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

$$\log(\bar{X}) = \text{curah hujan rata-rata logaritmik (mm)}$$

- $n$  = jumlah data
- $X_i$  = nilai curah hujan tiap-tiap tahun (mm).

3) Menghitung harga standar deviasinya dengan rumus berikut :

$$Slog(X) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \dots}$$

4) Menghitung koefisien skewness (Cs) dengan rumus :

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log(X_i) - \log'(X))^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots(2.11)$$

5) Menghitung logaritma hujan rencana dengan periode ulang T-tahun dengan rumus :

$$\log X_T = \log'(X) + G Slog(X) \dots\dots\dots(2.12)$$

Di mana :

$\log X_T$  = logaritma curah hujan dalam periode ulang T-tahun (mm)

$\log'(X)$  = curah hujan rata-rata logaritmik (mm)

$G$  = faktor frekuensi sebaran Log-Pearson Type III (Tabel 2.5)

$n$  = jumlah data

$C_s$  = koefisien kemencengan

**Tabel 2.5** Nilai G untuk Distribusi Log-Pearson Type III

Koefisien Kemencengan  (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Persentase peluang terlampaui ( <i>percent chance of being exceeded</i> )							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,360	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960

0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	1,761	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,751	2,000	2,252	2,482	3,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,995	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	1,097	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

(Sumber : Soewarno, 1995, Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data : 219)

Untuk menentukan jenis sebaran yang akan digunakan, maka parameter statistik data curah hujan wilayah diperiksa terhadap beberapa jenis sebaran sebagai berikut :

**Tabel 2.6** Persyaratan Parameter Statistik untuk Setiap Distribusi

No	Distribusi	Persyaratan yang harus dipenuhi
1	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Ej Gumbel	$C_s \leq 1,1396$ $C_k \leq 5,4002$
4	Log Pearson Type III	Jika semua tidak memenuhi syarat di atas

(Sumber : Kamiana, I Made, 2011)

### 2.3.2 Uji Keselarasan

Uji keselarasan dimaksudkan untuk menentukan persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Ada dua jenis uji keselarasan, yaitu *Chi Square* dan *Smirnov Kolmogorof*. Pada tes ini yang diamati adalah nilai hasil perhitungan yang diharapkan.

#### 2.3.2.1 Uji Chi-Kuadrat

Uji sebaran ini dimaksudkan untuk mengetahui distribusi-distribusi yang memenuhi syarat untuk dijadikan dasar dalam menentukan debit air rencana dengan periode ulang tertentu.

Adapun prosedur pengujian Chi-Kuadrat adalah sebagai berikut :

1. Urutkan data pengamatan dari yang terbesar ke yang terkecil atau sebaliknya.
2. Hitung jumlah kelas yang ada yaitu  $K = 1 + 3,3 \ln (n)$ .
3. Dalam pembagian kelas disarankan agar dalam masing-masing kelas terdapat minimal tiga buah data pengamatan.
4. Tentukan derajat kebebasan (DK) =  $K - P - 1$  (nilai  $P = 2$  untuk distribusi normal dan binomial, untuk distribusi Person dan Eij Gumbel nilai  $P = 1$ ).
5. Hitung jumlah data ( $n$ ).
6. Nilai  $Ef$  = jumlah data ( $n$ )/jumlah kelas ( $K$ ).
7. Tentukan nilai  $Of$  untuk masing-masing kelas.
8. Jumlah  $G$  sub-grup untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat.

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(Ef - Of)^2}{Ef} \dots\dots\dots(2.13)$$

Di mana :

$X^2$  = harga Chi-Kuadrat

$G$  = jumlah sub-kelompok

$Of$  = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

$Ef$  = frekuensi yang diharapkan sesuai pembagian kelasnya.

9. Didapat nilai  $X^2$ , harus  $< X^2_{Critical}$  yang didapat dari Tabel 2.7

**Tabel 2.7** Nilai Kritis untuk Distribusi *Chi Square* (Uji Satu Sisi)

DK	Derajat kepercayaan, $\alpha$							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278

8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	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	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	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	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,410	34,170	37,566	39,997
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	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	41,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,134	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

(Sumber : CD Soemarto, 1999)

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

- 1) Apabila peluang lebih besar dari 5% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- 2) Apabila peluang lebih kecil dari 1% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- 3) Apabila peluang antara 1 – 5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, maka perlu penambahan data.

### 2.3.2.2 Uji Smirnov – Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non-parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Pengujian kecocokan sebaran dengan cara ini dinilai lebih sederhana dibanding dengan pengujian dengan cara Chi-Kuadrat. Dengan membandingkan kemungkinan (probability) untuk setiap variat, dari distribusi empiris dan teoritisnya, akan didapat perbedaan ( $\Delta$ ) tertentu (Soewarno, 1995).

Prosedur uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorof* adalah sebagai berikut :

- 1) Urutkan data (dari besar kekecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

Di mana :

- P = peluang (%)
- m = nomor urut data
- n = jumlah data.

$$X_1 \rightarrow P X_1$$

$$X_2 \rightarrow P X_2$$

$$X_n \rightarrow P X_n$$

- 2) Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya) :

$$X_1 \rightarrow P' X_1$$

$$X_2 \rightarrow P' X_2$$

$$X_n \rightarrow P' X_n$$

Peluang teoritis dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.8 sebagai berikut :

**Tabel 2.8** Nilai Peluang Teoritis – Wilayah Luas di Bawah Kurva Normal

t	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-3,4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002
-3,3	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
-3,2	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005
-3,1	0,0010	0,0009	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007
-3,0	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010
-2,9	0,0019	0,0018	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
-2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
-2,7	0,0036	0,0034	0,0033	0,0032	0,0030	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
-2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0040	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
-2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
-2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
-2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
-2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
-2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
-2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
-1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
-1,8	0,0359	0,0352	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
-1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
-1,6	0,0668	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
-1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
-1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0722	0,0708	0,0694	0,0681
-1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
-1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
-1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
-1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
-0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
-0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
-0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
-0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
-0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
-0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
-0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483

-0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
-0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9278	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9899	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

(Sumber : Soewarno, 1995)

- 3) Dari kedua nilai peluang tersebut ditentukan selisih terbesar antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum} [P'(X_m) - P(X_m)] \dots\dots\dots(2.15)$$

- 4) Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov – Kolmogorof test*), tentukan harga  $D_0$  (Tabel 2.9).

**Tabel 2.9** : Nilai Kritis  $D_0$  untuk Uji Smirnov – Kolmogorov

N	$\alpha$			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24



50	0,15	0,17	0,19	0,23
n>50	1,07/n <sup>0,5</sup>	1,22/n <sup>0,5</sup>	1,36/n <sup>0,5</sup>	1,63/n <sup>0,5</sup>

(Sumber : Suripin, 2004)

- 5) Apabila nilai D lebih kecil dari nilai D<sub>0</sub> maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, tetapi apabila nilai D lebih besar dari nilai D<sub>0</sub>, maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan distribusi tidak dapat diterima.

### 2.3.3 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah besarnya hujan per satuan waktu tertentu. Perhitungan intensitas hujan (I) menggunakan rumus Mononobe (Suripin, 2003:68).

$$I = \frac{R24}{24} \left( \frac{24}{tc} \right)^{0,667} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

- I = intensitas curah hujan (mm/jam)
- R24 = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
- tc = waktu konsentrasi (jam)

### 2.3.4 Analisis Debit Banjir Rencana

#### 2.3.4.1 Metode Rasional

Dengan dasar pemikiran bahwa apabila air hujan jatuh dengan jumlah per satuan waktu yang tetap pada suatu permukaan kedap air, maka laju limpasan dari permukaan tanah akan sama dengan laju curah hujan. Untuk menghitung debit banjir di kawasan stadion dengan luas kurang dari 150 ha maka dipakai Metode Rasional, yaitu :

$$Q = \frac{1}{3,6} C . I . A \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

- Q = debit banjir (m<sup>3</sup>/detik)
- C = koefisien pengaliran
- I = intensitas hujan untuk periode ulang tertentu (mm/jam)
- A = area yang akan dipatuskan (km<sup>2</sup>)

#### Waktu Konsentrasi (tc)

Waktu konsentrasi (tc) adalah dapat juga disebut waktu tiba banjir, hingga saat ini beberapa persamaan empiris yang tersedia untuk digunakan sebagai rumus dalam perhitungan waktu konsentrasi. Waktu konsentrasi merupakan salah satu bagan yang

penting dalam melakukan perhitungan debit banjir terutama dalam penggunaan rumus rasional, yang debit banjirnya dihitung dengan intensitas hujan rata-rata selama waktu tiba banjir. Perkiraan waktu tiba banjir atau waktu konsentrasi dapat digunakan beberapa rumus empiris sebagai berikut :

$$t_c = \frac{L}{V} \dots\dots\dots(2.18)$$

dimana :

$t_c$  = waktu konsentrasi (jam).

$L$  = panjang sungai yaitu panjang horizontal dari titik teratas, lembah sungai terbentuk sampai titik tempat perkiraan waktu tiba banjir (km, m).

$\Delta H$  = beda tinggi antara titik terjauh pada daerah aliran sungai dan *outlet* (m)

$V$  = kecepatan aliran tiba banjir (km/jam atau m/detik)

### **Penentuan Koefisien Limpasan ( $C_i$ )**

Penggunaan lahan sangat mempengaruhi laju air permukaan. Daerah hutan lebat akan mengurangi terjadinya limpasan dan sebaliknya pada daerah permukiman akan menambah terjadinya limpasan, hal ini dikarenakan di hutan lebat hujan yang jatuh akan lebih banyak diserap dibandingkan dialirkan ke sungai seperti di permukiman. Data penggunaan lahan diperoleh dengan menggunakan metode klasifikasi *supervised*, yaitu dengan metode klasifikasi yang tidak dilakukan secara otomatis oleh sistem, namun diperlukan bantuan interpreter untuk mengklasifikasi nilai pixel atau menggunakan pengetahuan umum daerah interpreter untuk menentukan jenis penggunaan lahannya. Berdasarkan hasil interpretasi citra nilai koefisien limpasan dapat diketahui beserta luasannya. Nilai koefisien limpasan yang digunakan bersumber Tabel 2.10.

**Tabel 2.10** Nilai Koefisien Limpasan

No.	Deskripsi Permukaan	Nilai Ci
1	Kota, jalan, atap genteng	0,90
2	Kawasan Industri	0,80
3	Permukiman multi unit, pertokoan	0,70
4	Komplek Perumahan	0,60
5	Villa	0,40
6	Pekarangan	0,22
7	Lahan berat	0,40
8	Padang rumput	0,35
9	Lahan budidaya pertanian	0,30
10	Hutan	0,18

(Sumber : Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup 2009, modifikasi.)

### 2.3.4.2 Metode Der Weduwen

Rumus dari Metode Weduwen adalah sebagai berikut (Loebis, 1987) :

$$Qt = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

$$tc = 0,125 L Q^{-0,125} I^{-0,25} \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\beta = \frac{120 + \left( \frac{t+1}{t+9} \right) A}{120 + A} \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

$$q_n = \frac{R_n}{240} \times \frac{67,65}{(t+1,45)} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{(\beta q_n + 7)} \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

Di mana :

$Qt$  = debit banjir rencana ( $m^3/det$ )

$\alpha$  = koefisien pengaliran

$\beta$  = koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

$q_n$  = debit persatuan luas ( $m^3/det.km^2$ )

$A$  = luas daerah pengaliran ( $km^2$ )

$tc$  = waktu konsentrasi (jam)

$L$  = panjang sungai (km)

$I$  = Gradien sungai atau medan yaitu kemiringan rata-rata sungai (10% bagian hulu dari panjang sungai tidak dihitung. Beda tinggi dan panjang diambil dari suatu titik  $0,1L$  dari batas hulu DAS).  
 $R_n$  = curah hujan maksimum (mm/hari).

Adapun syarat dalam perhitungan debit banjir dengan Metode Weduwen adalah sebagai berikut :

$A$  = luas daerah pengaliran < 100 km<sup>2</sup>  
 $t$  = 1/6 sampai 12 jam.

Langkah kerja perhitungan Metode Weduwen :

1. Hitung  $A$ ,  $L$  dan  $I$  dari peta garis tinggi DAS, substitusikan ke dalam persamaan,
2. Buat harga perkiraan untuk  $Q_1$  dan gunakan persamaan di atas untuk menghitung besarnya  $t$ ,  $q_n$ ,  $\alpha$  dan  $\beta$ ,
3. Setelah besarnya  $t$ ,  $q_n$ ,  $\alpha$  dan  $\beta$  didapat kemudian dilakukan iterasi perhitungan untuk  $Q_2$ , dan
4. Ulangi perhitungan sampai dengan  $Q_n = Q_{n-1}$  atau mendekati nilai tersebut.

#### 2.3.4.3 Metode Haspers

Untuk menghitung besarnya debit dengan Metode *Haspers* digunakan persamaan sebagai berikut :

Rumus *Haspers* :

$$Qt = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \dots\dots\dots(2.24)$$

Di mana :

$Qt$  = debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/det)  
 $q_n$  = debit persatuan luas (m<sup>3</sup>/det.km<sup>2</sup>).

- 1) Koefisien *Runoff* ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{1+0,012 A^{0,7}}{1+0,075 A^{0,7}} \dots\dots\dots(2.25)$$

- 2) Koefisien reduksi ( $\beta$ )

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + (3,7 \times 10^{-0,4t})}{t^2 + 15} \times \frac{A^{3/4}}{12} \dots\dots\dots(2.26)$$

3) Waktu Konsentrasi (tc)

$$tc = 0,1 L^{0,8} I^{-0,3} \dots\dots\dots(2.27)$$

4) Intensitas Hujan (Rn)

a) Untuk t < 2 jam,

$$Rn = \frac{t \cdot R_{24}}{t+1 - \left\{ 0,0008 (260 - R_{24}) (2-t)^2 \right\}} \dots\dots\dots(2.28)$$

b) Untuk 2 jam ≤ t ≤ 19 jam,

$$Rn = \frac{t \cdot R_{24}}{t+1} \dots\dots\dots(2.29)$$

c) Untuk 19 jam ≤ t ≤ 30 jam,

$$Rn = 0,0707 R_{24} \sqrt{t+1} \dots\dots\dots(2.30)$$

Di mana t dalam jam dan Rt, R<sub>24</sub> (mm).

5) Hujan maksimum

$$q_n = \frac{Rn}{3,6 \times t} \dots\dots\dots(2.31)$$

Adapun langkah-langkah dalam menghitung debit puncak adalah sebagai berikut :

- a) Menentukan besarnya curah hujan sehari (Rh rencana) untuk periode ulang rencana yang dipilih
- b) Menentukan α, untuk daerah aliran sungai
- c) Menghitung A, L, dan I, untuk daerah aliran sungai
- d) Menghitung nilai t (waktu konsentrasi)
- e) Menghitung β, Rn, q<sub>n</sub> dan Qt = α · β · q<sub>n</sub> · A.

#### 2.3.4.4 Metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Untuk memprediksi unit hidrograf dari suatu DAS berdasarkan data-data karakteristik fisik DAS sungai yang bersangkutan, dapat digunakan metode unit

hidrograf sintetis. Salah satu metode yang umum dipakai adalah metode Nakayasu. Persamaan umum hidrograf satuan sintetis Nakayasu adalah sebagai berikut (Soemarto, 1987), dan dikoreksi untuk nilai waktu puncak banjir dikalikan 0,75 dan debit puncak banjir dikalikan 1,2 untuk menyesuaikan dengan kondisi di Indonesia.

$$Q_p = \frac{C \cdot A \cdot R_0}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots(2.32)$$

Di mana :

$Q_p$  = debit puncak banjir (m<sup>3</sup>/det)

$R_0$  = hujan satuan (mm)

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

$T_{0,3}$  = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari puncak sampai 30% dari debit puncak

$A$  = luas daerah pengaliran sampai outlet

$C$  = koefisien pengaliran.

Untuk menentukan  $T_p$  dan  $T_{0,3}$  digunakan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$T_p = tg + 0,8 \cdot tr \dots\dots\dots(2.33)$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot tg \dots\dots\dots(2.34)$$

$$t_r = 0,75 \cdot tg \text{ sampai } tg \dots\dots\dots(2.35)$$

$tg$  adalah time lag yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak banjir di mana  $tg$  dihitung dengan ketentuan sebagai berikut :

- 1) Sungai dengan panjang alur  $L > 15$  km :

$$tg = 0,4 + 0,058 L \dots\dots\dots(2.36)$$

- 2) Sungai dengan panjang alur  $L < 15$  km :

$$tg = 0,21 \times L^{0,7} \dots\dots\dots(2.37)$$

Di mana :

$tr$  = satuan waktu hujan (jam)

$\alpha$  = parameter hidrograf, untuk :

$\alpha = 2$  → pada daerah pengaliran biasa

$\alpha = 1,5$  → pada bagian naik hidrograf lambat dan turun cepat

$\alpha = 3$  → pada bagian naik hidrograf cepat, dan turun lambat.

a) Pada waktu kurva naik :  $0 \leq t \leq T_P$

$$Q_t = \left( \frac{t}{T_P} \right)^{2,4} Q_P \dots\dots\dots(2.38)$$

Di mana :

$Q_t$  = limpasan sebelum mencari debit puncak ( $m^3/det$ )

$t$  = waktu (jam).

b) Pada waktu kurva turun

A. Selang nilai :  $T_P \leq t \leq ( T_P + T_{0,3} )$

$$Q_t = Q_P \times (0,3)^{\frac{(t - T_P)}{T_{0,3}}} \dots\dots\dots(2.39)$$

B. Selang nilai :  $( T_P + T_{0,3} ) \leq t \leq ( T_P + T_{0,3} + 1,5T_{0,3} )$

$$Q_t = Q_P \times (0,3)^{\frac{(t - T_P + 0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}}} \dots\dots\dots(2.40)$$

C. Selang nilai :  $t > ( T_P + T_{0,3} + 1,5T_{0,3} )$

$$Q_t = Q_P \times (0,3)^{\frac{(t - T_P + 1,5T_{0,3})}{2T_{0,3}}} \dots\dots\dots(2.41)$$

#### 2.3.4.5 HSS Snyder

Metode Snyder pada dasarnya menentukan hidrograf satuan sintetis yang dihitung berdasarkan rumus empiris dan koefisien empiris yang menghubungkan komponen hidrograf satuan dengan karakteristik DAS. Parameter yang menentukan hidrograf satuan adalah luas DAS, panjang sungai utama, dan panjang sungai utama yang diukur dari tempat pengamatan sampai dengan titik pada sungai utama yang berjarak paling dekat dengan titik berat DAS. Hidrograf Satuan Sintetis metode Snyder mempertimbangkan karakteristik DAS yang mempengaruhi bentuk hidrograf satuan, seperti luas dan bentuk DAS, topografi, kemiringan sungai, kerapatan sungai dan simpanan air (Wilson, 1993). Adapun persamaan yang dibuat oleh Snyder adalah sebagai berikut :

$$t_p = C_t (L \cdot L_C)^{0,3} \dots\dots\dots(2.42)$$

Dimana :

$L$  = panjang sungai (km)

$L_C$  = panjang sungai dari titik berat basin ke outlet (km)

$t_p$  = waktu dari titik berat excess rainfall ke peak flow unit Hydrograf

$C_t$  = koefisien yang tergantung dari slope basinnya.

$$q_p = 0,278 \frac{C_p}{t'_p} \dots\dots\dots(2.43)$$

Dimana :

$q_p$  = debit maksimum unit hidrograf ( $1\text{m}^3/\text{det}/\text{km}^2$ )

$C_p$  = koefisien yang tergantung dari karakteristik DAS.

$$t\varepsilon = \frac{t_p}{5,50} \dots\dots\dots(2.44)$$

Dimana :

$t\varepsilon$  = Lamanya curah hujan efektif (jam)

$$\text{Jika } t\varepsilon > t_R \rightarrow t'_p = t_p + 0,25(t_R - t\varepsilon) \dots\dots\dots(2.45)$$

Sehingga didapat waktu untuk mencapai debit maksimum.

$$T_p = t'_p + 0,5 t_R \dots\dots\dots(2.46)$$

Jika  $t\varepsilon < t_R$  maka,

$$T_p = t_p + 0,5 t_R \dots\dots\dots(2.47)$$

Dimana :

$T_p$  = *time rise to peak*

$t_R$  = lamanya hujan efektif 1 jam.

$$Q_p = q_p \times A \dots\dots\dots(2.48)$$

Dimana :

$Q_p$  = Debit maksimum total ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$q_p$  = Debit maksimum unit hidrograf ( $1\text{m}^3/\text{dt}/\text{km}^2$ )

$A$  = luas daerah aliran ( $\text{km}^2$ ).



Snyder hanya membuat rumus empiris untuk menghitung debit puncak  $Q_p$  dan waktu yang diperlukan untuk mencapai puncak dari suatu hidrograf saja, sehingga untuk mendapatkan lengkung hidrografnya memerlukan waktu untuk mengkalibrasi parameter-parameternya. Untuk mempercepat pekerjaan tersebut diberikan rumus ALEXEJEV, yang memberikan bentuk hidrograf satuannya persamaan ALEXEJEV adalah sebagai berikut :

$$Q = f(t) \dots\dots\dots(2.49)$$

$$Y = \frac{Q}{Q_p} \text{ dan } X = \frac{t}{T_p} \dots\dots\dots(2.50)$$

$$Y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}} \dots\dots\dots(2.51)$$

$$\lambda = \frac{Q_p \cdot T_p}{h \cdot A} \dots\dots\dots(2.52)$$

dan  $h$  = tinggi hujan = 1 mm.

$$a = 1,32 \cdot \lambda^2 + 0,15 \cdot \lambda + 0,045 \dots\dots\dots(2.53)$$

## **2.4 PENANGANAN MASALAH BANJIR**

Upaya mengatasi masalah banjir dan kerusakan akibat banjir terdiri dari dua pekerjaan, yaitu pekerjaan sipil (upaya struktur) dan pekerjaan non sipil (upaya non struktur)

- 1) Upaya pengendalian banjir dengan cara sipil yang dimaksud adalah untuk :
  - a. Mencegah meluapnya banjir sampai ketinggian tertentu dengan tanggul
  - b. Merendahkan elevasi muka air banjir dengan normalisasi
  - c. Mencegah erosi tebing dengan perkuatan tebing dan krib
- 2) Upaya pengendalian banjir dengan cara non sipil  
Yang dimaksud adalah usaha mengurangi kerusakan akibat banjir sampai pada tingkat serendah-rendahnya (minimum), antara lain adalah sebagai berikut :
  - a. Prakiraan banjir dan peringatan dini.  
Dipasanginya warning system, seperti peil banjir dan tanda banjir lainnya yang ada pada DAS yang bersangkutan perlu diupayakan dan disosialisasikan
  - b. Penanggulangan banjir (flood fighting) dan evakuasi
  - c. Pemindahan (Relokasi)  
Bangunan/rumah yang dibangun /sudah terlanjur dibangun di daerah bantaran sungai, sebaiknya diupayakan untuk dapat dipindahkan. Apabila terpaksa, maka bangunan tersebut seharusnya dibuat dengan konstruksi yang tahan terhadap genangan air atau dapat dilindungi dengan bangunan perkuatan, seperti tanggul

banjir atau konstruksi dinding penahan tanah yang diperuntukkan khusus untuk melindungi bagian bangunan yang terancam bahaya banjir/genangan banjir yang mungkin akan terjadi.

d. Pengelolaan dataran banjir

Perlu diterbitkan aturan pemerintah daerah setempat yang melarang pembangunan rumah/pemukiman di pinggiran sungai/daerah bantaran sungai supaya terbebas dari rencana perbaikan/penanggulangan banjir yang mungkin akan dilakukan dalam rangka mengatasi masalah banjir.

e. Manajemen sampah

Perlu diterbitkannya peraturan-peraturan/undang-undang pemerintah daerah tentang adanya larangan pembuangan sampah/hal serupa yang dapat mengganggu kelancaran aliran sungai dan dapat menimbulkan banjir.

f. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai :

Tata ruang untuk DAS, penghijauan, reboisasi dan pengendalian erosi daerah aliran sungai.

#### **2.4.1 Perencanaan Bangunan Pengendali Banjir**

Penetapan bangunan pengendali banjir dari beberapa alternatif pengendalian banjir/ pengamanan sungai yang selanjutnya dirumuskan menjadi desain hidraulik yang mencakup :

a. Tata letak bangunan

b. Fungsi bangunan

c. Perhitungan hidraulik

d. Dimensi bangunan

Permasalahan yang berkaitan dengan proses terjadinya banjir sangat berkaitan erat dengan beberapa hal, antara lain kondisi alam, peristiwa alam dan kegiatan manusia. Demikian pula permasalahan banjir di Sungai Manikin selain faktor iklim ( curah hujan ) dan kondisi morfologi sungai, apabila di telusuri fenomena banjir yang terjadi disebabkan oleh beberapa faktor yaitu :

Terjadinya perubahan proporsi penggunaan lahan di kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS), pada beberapa tahun terakhir ini dan kemungkinan beberapa tahun ke depan terjadi percepatan konversi lahan, dari lahan hutan menjadi lahan perkebunan atau lahan pertanian

non perkebunan yang cukup cepat. Konversinya adalah akan terjadi perubahan koefisien aliran, yang semula kecil akan berubah menjadi semakin besar dari tahun ke tahun, sehingga akan menimbulkan bertambahnya kecepatan aliran air hujan dipermukaan yang pada akhirnya akan terakumulasi menjadi debit air yang cukup besar dengan interval waktu yang pendek. Kondisi diatas akan memicu terjadinya erosi, baik erosi permukaan maupun erosi vertikal berupa longsor-an-longsor-an, yang selanjutnya akan terbawa oleh aliran sungai dan akan menimbulkan beberapa masalah , diantaranya :

Pertumbuhan vegetasi liar yang tidak terkendali pada sebelah kiri dan kanan aliran sungai, juga pada lahan / tanah hasil dari endapan sedimentasi di badan sungai akan mengurangi daya tampung sungai juga akan menimbulkan masalah lain yaitu terhambatnya kelancaran aliran air yang menuju muara ketika sedang terjadi banjir, sehingga akan menimbulkan meluasnya daerah genangan akibat luapan air sungai. Terdapat timbunan endapan sedimen yg sudah ditumbuhi oleh tanaman liar yang mempersempit alur sungai sehingga menimbulkan gerusan disebaliknya yang sangat rentan terhadap timbulnya longsor-an-tebing. Untuk mempertahankan keutuhan tebing sungai dari gerusan yang disebabkan oleh besarnya daya rusak air, di beberapa lokasi perlu dibuat bangunan perkuatan tebing menggunakan krib dan bronjong.

Kerugian banjir dapat diminimalkan dengan bangunan-bangunan yang dirancang untuk mengurangi kejadian atau penyebaran banjir. Bangunan pengendali banjir adalah bentuk aktif dari pengendali banjir yang direncanakan untuk fungsi sebagai berikut :

- a. Mengurangi besarnya debit banjir seperti pada bendungan dan *reservoir*, *floodway* dan kolam penampung
- b. Mengisolasi daerah dari air banjir seperti tanggul
- c. Mengurangi tinggi muka air dengan memperbesar kapasitas tampungan sungai seperti pada perbaikan alur dan atau perbaikan drainase dalam daerah dataran banjir.

#### **2.4.2 Pengarah Aliran Menggunakan krib**

Berdasarkan pada fungsi krib sebagai pelindung tebing, atau sebagai pengarah untuk membelokkan aliran, atau sebagai pengarah untuk memperbaiki alinyemen sungai, maka dalam perencanaan harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- a) Sebagai pelindung tebing tidak langsung terutama untuk tebing yang terletak pada daerah potensial seperti bangunan fasilitas umum, jalan raya, jembatan, tanggul,

maka krib harus dapat membelokkan arus dan kecepatan di antara krib akan tereduksi sehingga suspended load akan mengendap dan akan membentuk garis tebing yang baru, sedangkan untuk pelindung tebing sungai langsung terhadap longsor, akan ditanggulangi dengan konstruksi tersendiri.

b) Sebagai pengarah untuk membelokkan aliran sungai agar sesuai dengan tujuannya yaitu:

1. Krib untuk mengatur debit agar masuk ke percabangan sebagai suplesi, agar aliran masuk ke bangunan pengambilan.
2. Krib untuk memperbaiki arah arus apabila di udik bangunan pengambilan (bendung, pompa air, pintu air) terjadi perubahan arah arus.
3. Krib untuk memperbaiki pola dan arah aliran pada alur sungai tidak menentu misalnya pada sungai di dataran rendah.

c) Sebagai pengarah untuk memperbaiki alinyemen sungai untuk keperluan tertentu yaitu:

1. Untuk mempertahankan lebar dan kedalaman sungai yang dipakai keperluan navigasi maka krib dipasang pada tebing kiri dan kanan sungai.
2. Untuk memperbaiki alinyemen karena terjadinya longsor tebing karena arus maka krib dipasang secara serial guna memacu terjadinya endapan pada bagian tebing tersebut.

Secara garis besar dapat digolongkan bangunan krib terdiri dari 3 (tiga) tipe yaitu :

1. Tipe Permeabel (*Permeable Type*) :  
Pada tipe ini air akan tetap mengalir melalui celah krib.
2. Tipe Impermeabel (*Impermeable Type*) :  
Pada tipe ini air tidak dapat mengalir melalui celah krib
3. Tipe Semi-Permeabel (*Semipermeable Type*) :  
Tipe ini merupakan kombinasi 1 dan 2

Sedangkan berdasarkan Formasinya bangunan Krib dibagi menjadi 2 (dua) yaitu:

1. Tipe *Transversal* (Tipe Silang) : krib yang bentuk/formasinya dibangun secara tegak-lurus/miring dengan arah arus air sungai.
2. Tipe *Longitudinal* (Tipe Memanjang) : Krib yang bentuk/formasinya dibangun hampir sejajar dengan arah arus air sungai.

Ditinjau dari jenis konstruksinya krib dibagi menjadi :

### 1. Krib Tiang Pancang

Merupakan krib permeabel yang sangat baik baik untuk arah melintang maupun memanjang. Konstruksinya lebih kuat dan sangat sederhana, sangat cocok untuk lokasi dibagian sungai yang arusnya tidak terlampau deras dan tanah dasarnya tidak keras. Material krib ini dapat berasal dari tiang kayu atau beton (diameter 15 – 30 cm) yang dipancangkan 2 bris berbanjar dengan jarak 1 – 2 meter.


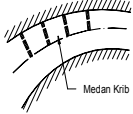
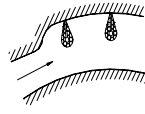
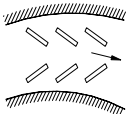
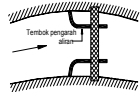
### 2. Krib Rangka ( *Skelton Spur* )

Sangat cocok ditempatkan pada daerah tanah dasar yang keras (sukar ditembus tiang pancang), arus air sungai yang cukup deras/besar. Krib ini termasuk tipe semi-permeabel karena umumnya terdiri dari bahan/material konstruksinya terbuat dari susunan/tumpukan blok batu alam, bronjong diisi batu atau beton yang tersusun membentuk kotak segiempat atau segitiga pyramid.

### 3. Krib Blok Beton

Konstruksi krib tipe ini sangat cocok dibangun pada daerah/lokasi sungai dengan kecepatan airnya sangat deras, selain kuat juga sangat fleksibel. Begitupun dimensi/beratnya dapat dibuat seragam atau disesuaikan dengan gaya kecepatan arus air sungai.

**Tabel 2.11** Tipe Bangunan Pengendali/Pengaturan Sungai

Tipe	Perkuatan Tebing	Krib Lulus Air	Krib Kedap Air, J eti	Krib Bawah Air (Baff, Vane)	Tembok Pengarah Aliran
Tata Letak	 Potongan Melintang	 Denah	 Denah	 Denah	 Denah
Definisi	Perkuatan tebing dan dasar	Medan krib direncanakan untuk mengurangi kecepatan aliran dan terjadinya sedimentasi	Menjorok dari tebing kearah tengah sungai untuk mengarahkan aliran dan muatan sedimen dasar	Pengarahan aliran dibawah air	Pelindung pangkal jembatan
Fungsi Utama	Mencegah penggerusan tebing dan memperbaiki alur pelayaran	Terbentuknya endapan dan membentuk saluran tunggal yang dalam	Meningkatkan alur pelayaran dan perlindungan tebing	Mencegah penggerusan tebing, membentuk palung/kedung sungai di tengah alur	Mengarahkan aliran sungai ke bukaan jembatan
Dasar sungai yang cocok untuk penerapannya	Pasir dan kerikil	Pasir	Pasir dan kerikil	Pasir	Pasir dan kerikil
Keterangan	Bahan yang dipakai umumnya riprap batu, pa-nel beton atau bronjong	Terbuat dari tiang pancang besi, kayu atau beton			Perencanaan sama dengan krib

(Sumber : Sosialisasi NSPM & Advis Teknis, Puslitbang SDA, Tahun 2003)

#### 2.4.2.1 Perencanaan krib meliputi :

Perhitungan Hidrolis

Jari-jari lingkaran minimum ( R min )

Besarnya jari-jari minimum dapat dihitung dengan rumus :

$$R_{\min} = 18\sqrt{Qd}$$

$R_{\min}$  = jari - jari minimum ( m ).

$Q_d$  = debit rencana ( m / dt.)

$R_{\min} \geq 3 B$

$B$  = lebar sungai rerata ( m )

Elevasi bagian puncak Krib dibuat sama tingginya dengan muka air rencana berdasarkan hasil analisa hidrolis pada lokasi yang bersangkutan dan atau disesuaikan dengan kebutuhan setempat.

##### a. Jarak antar krib

Jarak (*interval*) krib biasanya ditetapkan sedemikian rupa sehingga arus sungai diujung krib yang lebih hulu dapat diterima oleh krib yang dilindungi disebelah hilir krib pertama tersebut. Pada bagian-bagian sungai yang airnya dalam kemungkinan dapat terjadi pukulan air (*water hammer*), (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985 : 179), untuk menghitung jarak antar krib digunakan persamaan sebagai berikut :

Jarak antar krib secara empiris dapat dihitung dengan rumus :

$$\frac{2gd}{ch} < 0.6$$

Dimana :

$C_e$  = koefisien Chezy ( $m^{1/2}/dt$ ) ( $\cong 45$  untuk sungai);

$h$  = mean (nilai rata-rata) kedalaman air (m);

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/dt^2$ ).

Interval krib untuk tidak membahayakan tebing sungai. Perbandingan antara jarak antara krib dengan panjang krib adalah 1 ~ 4. Hubungan antara interval krib ( $D$ ) dan panjang krib ( $L$ ) dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

Bagian lurus,  $D = (1,7 - 2,3)L$

Belokan luar,  $D = (1,4 - 1,8)L$

Belokan dalam,  $D = (2,8 - 3,6)L$

a. Perhitungan Stabilitas

Perhitungan stabilitas Bangunan Perlindungan Tebing/Krib dihitung dengan rumus sebagai berikut, dan hasil perhitungan dapat dilihat pada uraian dibawah ini.

Kedalaman pondasi dihitung berdasarkan dalamnya gerusan yang terjadi dengan formula sebagai berikut :

Lacey :

$$d_s = 0,47 \times \left( \frac{Q}{f} \right)^{1/3} \times Z$$
$$f = 1,76 \times \sqrt{d_m}$$

dimana :

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

Z = Faktor bentuk lengkung sungai menurut Lacey = 0,50

dm = diameter butiran bahan dasar sungai rata-rata ( mm ).

b. Dimensi bangunan perlindungan tebing/Krib.

Tinggi bangunan perlindungan tebing ditentukan sesuai dengan tinggi muka air banjir rencana dan atau disesuaikan dengan kebutuhan kondisi setempat, sedangkan ketebalannya ditentukan berdasarkan perhitungan stabilitas konstruksi.

Perhitungan stabilitas konstruksi akan dipakai formula Rankin dengan memperhitungkan Tekanan Aktif dan Tekanan Pasif, sebagai berikut :

Tekanan Tanah Aktif :

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \phi/2 \right)$$

Tekanan Tanah Pasif :

$$K_p = \tan^2 \left( 45^\circ + \phi/2 \right)$$

Tinjauan Perhitungan Stabilitas :



1) Terhadap Guling ( ditinjau terhadap titik O )

$$SF = ( \Sigma M \text{ Tahan} / \Sigma M \text{ Guling} ) \geq 1.5$$

2) Terhadap Geser

$$SF = ( \Sigma \text{ Gaya Vertikal} \times \mu ) / \Sigma \text{ Gaya Horizontal} \geq 1.50$$

3) Terhadap Exentrisitas ;

$$.e = ( ( B / 2 ) - ( \Sigma M / \Sigma V ) ) \leq B / 6$$

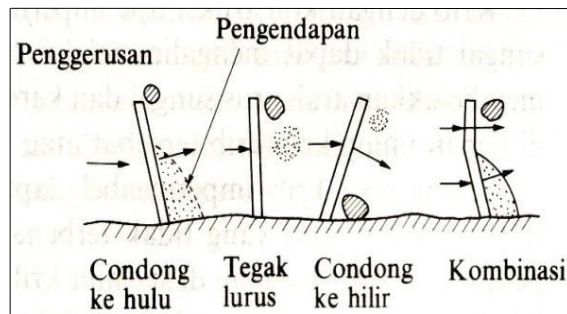
4) Terhadap daya dukung tanah :

$$.q_1 = ( \Sigma V / B ) * ( 1 + ( 6 e / B ) ) \leq q \text{ izin}$$

$$.q_2 = ( \Sigma V / B ) * ( 1 - ( 6 e / B ) ) \leq q \text{ izin}$$

b. Formasi krib

Formasi krib yang umumnya diterapkan yaitu tegak lurus aliran, condong kearah hulu, condong kearah hilir dan kombinasi.



**Gambar 2.8** Formasi krib dan proses penggerusan-pengendapan pada dasar sungai. Sudut-sudut yang paling cocok antara arah aliran dan sudut sumbu krib untuk berbagai krib (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985 : 178).

**Tabel 2.12** Arah Aliran dan sudut sumbu krib

Lokasi Pembuatan krib di sungai	Arah aliran dan sudut sumbu krib $\theta$
Bagian lurus	$10^\circ - 15^\circ$
Bagian luar	$5^\circ - 15^\circ$
Bagian dalam	$0^\circ - 10^\circ$

Beberapa formasi krib diuraikan seperti dibawah ini :

a) *Tegak lurus arus*, biasanya baik untuk sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut.

b) *Condong arah hilir*, sangat efektif untuk melindungi tebing sungai

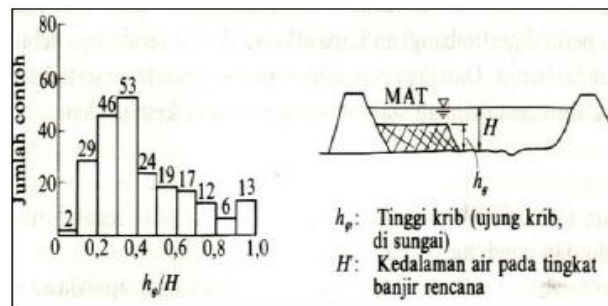
Berdasarkan studi yang pernah dilakukan maka sudut krib yang efektif adalah sebagai berikut :

1. Bagian sungai lurus : 10° - 15° tegak lurus tebing.
2. Bagian belokan luar : 5° - 15° tegak lurus tebing.
3. Bagian belokan dalam : 0° - 10° tegak lurus tebing.

c) *Condong arah hulu*, kadang-kadang digunakan untuk meningkatkan fungsi bangunan sadap pada sungai yang arusnya tidak deras.

### c. Tinggi Krib

Lebih efisien apabila elevasi mercu krib dapat dibuat serendah mungkin, ditinjau dari segi keamanan terhadap gaya-gaya yang berat dari arus sungai. Elevasi mercu ujung krib sebaiknya sekitar 0,5 - 1,0 m diatas permukaan air rendah (rata-rata permukaan air rendah). Dari hasil pengamatan diperoleh angka perbandingan antara tinggi krib dan kedalaman air banjir (angka  $h_g/H$ ) sekitar 0,2- 0,3.



**Gambar 2.9** Hubungan antara tinggi krib dan kedalaman air sungai disaat terjadinya banjir.

### d. Panjang krib

Panjang krib ditetapkan secara empiris (tanpa menggunakan aturan khusus), hanya dengan perkiraan semata-mata dan didasarkan pada pengamatan data sungai yang bersangkutan, antara lain situasi sungai, lebar sungai, kemiringan sungai, debit banjir, kedalaman air sungai, debit normal, bahan yang terdapat didasar sungai, kondisi disekeliling sungai serta pengalaman-pengalaman pada sungai tersebut atau sungai yang dimensi serta perilakunya hampir sama (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985 : 178-179). Untuk menghitung panjang krib digunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_k \leq 10\%B$$

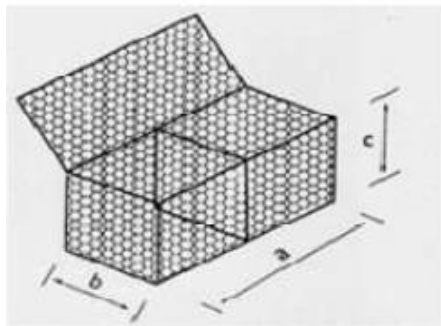
Dimana ;

$lk$  = panjang krib (m);

$B$  = lebar sungai (m)

### 2.4.3 Perkuatan Tebing sungai Menggunakan Bronjong

Bronjong kawat adalah kotak yang terbuat dari anyaman kawat baja berlapis seng yang pada penggunaannya diisi batu-batu untuk pencegah erosi yang dipasang pada tebing-tebing, tepi-tepi sungai, yang proses penganyamannya menggunakan mesin. Syarat bahan baku mengacu pada SNI 03-6154-1999 tentang kawat bronjong. Sifat tampak bronjong kawat harus kokoh, bentuk anyaman heksagonal dengan lilitan ganda dan berjarak maksimum 40 mm serta harus simetri. Lilitan harus erat, tidak terjadi kerenggangan hubungan antara kawat sisi dan kawat anyaman dililit minimum tiga (3) kali sehingga kawat mampu menahan beban dari segala jurusan. Bronjong berbentuk persegi yang terbuat dari anyaman kawat baja berlapis seng yang pada penggunaannya diisi batu-batu untuk pencegah erosi yang dipasang pada tebing tebing,tepi-tepi sungai, yang proses penganyamannya menggunakan mesin. Jenis ini sifatnya untuk pelindung lereng secara darurat dan sementara. Kelebihan dari bronjong kawat silinder (wire cylinder work) ini adalah kekasarannya yang tinggi, fleksibel, dapat dikerjakan dengan cepat dan ekonomis.



**Gambar 2.10** Penampang Bronjong Kawat

#### 2.4.3.1 Perencanaan Bangunan Pekuatan Tebing Sungai dari Bronjong

##### A. Perhitungan Hidrolis

Bangunan perkuatan tebing merupakan konstruksi yang berfungsi sebagai pengaman tebing dari bahaya longsor. Elevasi mercu bangunan perkuatan tebing ditentukan berdasarkan pertimbangan tinggi muka air banjir rencana atau disesuaikan dengan kebutuhan setempat. Besarnya debit banjir rencana untuk Sungai Manikin ditentukan berdasarkan  $Q_{10}$ .

##### B. Perhitungan Stabilitas.

- Kedalaman Pondasi

Kedalaman pondasi dihitung berdasarkan dalamnya gerusan yang terjadi dengan formula sebagai berikut :

Lacey :

$$d_s = 0,47 \times \left( \frac{Q}{f} \right)^{1/3} \times Z$$

dimana :

$$f = 1,76 \times \sqrt{d_m}$$

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

Z = Faktor bentuk lengkung sungai menurut Lacey = 0,50

d<sub>m</sub> = diameter butiran bahan dasar sungai rata-rata ( mm ).

**C. Dimensi bangunan perkuatan tebing.**

Tinggi bangunan perkuatan tebing ditentukan sesuai dengan tinggi muka air banjir rencana atau kebutuhan setempat, sedangkan ketebalannya ditentukan berdasarkan perhitungan stabilitas konstruksi. Perhitungan stabilitas konstruksi akan dipakai formula *Coulomb* dengan memperhitungkan Tekanan Aktif dan Tekanan Pasif, sebagai berikut :

Tekanan Tanah Aktif :

$$K_a = \frac{\cos 2(\varphi - \delta)}{\cos 2\varphi \cos(\theta + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\alpha - \theta) \cos(\theta + \delta)}} \right]^2}$$

Tekanan Tanah Pasif :

$$K_p = \frac{\cos 2(\varphi + \delta)}{\cos 2\theta \cos(\theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi + \alpha)}{\cos(\alpha + \theta) \cos(\theta + \delta)}} \right]^2}$$

Tinjauan Stabilitas :

- Terhadap Guling ( ditinjau terhadap titik O )

$$SF = ( \Sigma M \text{ Tahan} / \Sigma M \text{ Guling} ) \geq 1.5$$

- Terhadap Geser

$$SF = ( \Sigma \text{ Gaya Vertikal} \times \mu ) / \Sigma \text{ Gaya Horizontal} \geq 1.50$$

- Terhadap Exentrisistas ;

$$e = ((B / 2) - (\Sigma M / \Sigma V)) \leq B / 6$$

- Terhadap daya dukung tanah :

$$q_1 = (\Sigma V / B) * (1 + (6 e / B)) \leq q \text{ izin}$$

$$q_2 = (\Sigma V / B) * (1 - (6 e / B)) \leq q \text{ izin}$$

#### d. Identifikasi alat dan peralengkapan kerja

Pada pekerjaan persiapan, mobilisasi alat dan peralengkapan kerja sangat ditentukan oleh metode kerja pemasangan bronjong itu sendiri. Metode kerja pemasangan bronjong disini terdapat 2 (dua) cara yang sangat menonjol, yaitu metode manual, yang dikerjakan oleh tenaga manusia, dan metode mekanik (menggunakan peralatan mesin). Persiapan alat peralengkapan untuk pekerjaan yang membutuhkan alat mekanik, meliputi : alat berat untuk penggalian dan penimbunan (bechhoe), untuk penggusuran dan perataan (wheel dozer) jika jaraknya pendek, dan jika jarak tempuh pengurugannya cukup jauh digunakan (dumptruck), untuk pekerjaan pemadatan perlu dipersiapkan (wheelroller). Persiapan untuk pekerjaan pemasangan bronjong yang cukup dikerjakan oleh tenaga manusia, maka alat dan peralengkapan yang harus disiapkan meliputi : cangkul, scope, gerobak dorong, roller atau stemper, linggis. Sedang bronjongnya itu sendiri biasanya sudah dirakit, karena melakukan perakitan bronjong di tempat kerja dianggap tidak ekonomis, sehingga persiapan alat dan peralengkapan untuk merakit bronjong itu sendiri meliputi : tang, gegep, alat pelilit, alat pengunci, martil kayu/karet.

Fungsi konstruksi bronjong adalah di sungai berfungsi menahan laju endapan lumpur sungai, atau juga berfungsi sebagai pemecah aliran sungai yang deras menerpa tebing agar tidak terjadi pengikisan tebing, selain itu konstruksi bronjong di aliran sungai untuk menaikkan tinggi elevasi aliran sungai agar air sungai dapat dimanfaatkan untuk kepentingan irigasi. Bronjong yang dipasang pada daratan, berfungsi untuk mencegah lonsoratan tanah, baik itu tebing, maupun tebing buatan atau talud.

Keuntungan dan kerugian pemasangan bronjong pada dinding penahan tanah. Keuntungan pemasangan bronjong adalah, bronjong adalah konstruksi yang bersifat sementara, akan tetapi memiliki kekokohan yang cukup kuat, dan pemasangannya sangat sederhana, lebih ekonomis dibandingkan dengan konstruksi beton.

Kerugiannya bronjong yang terbuat dari kawat, rawan akan perusakan dari tangan-tangan yang tidak bertanggung jawab. Karena bronjong hanya ditempatkan di atas tanah, maka kekokohan bronjong hanya akibat berat sendiri, sehingga jika terjadi tekanan yang lebih besar dari berat sendiri, akan terjadi pergeseran konstruksi bronjong. Live time kawat

bronjong sangat terbatas sehingga jika batas waktunya sudah telampaui, maka kawat bronjong akan mudah berkarat.