

## **BAB III**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **3.1 Tinjauan Umum**

Dalam pekerjaan normalisasi sungai diperlukan bidang-bidang ilmu pengetahuan yang saling mendukung demi kesempurnaan hasil perencanaan. Bidang ilmu pengetahuan itu antara lain hidrologi, hidrolika, dan stabilitas tanah.

#### **3.2 Debit Banjir**

Perhitungan debit banjir meliputi curah hujan rencana, perhitungan intensitas curah hujan dan perhitungan debit banjir.

##### **3.2.1 Curah Hujan Rencana**

Data curah hujan dan debit merupakan data yang paling fundamental dalam perencanaan normalisasi sungai. Penentuan besar curah hujan rencana meliputi penentuan luas DAS, penentuan curah hujan harian menggunakan metode *polygon thiessen*, penentuan curah hujan maksimum harian rata-rata.

##### **A. Penentuan Luas DAS**

DAS adalah suatu daerah yang dibatasi oleh pemisah topografi yang menerima hujan, menampung, menyimpan dan mengalirkan ke sungai dan seterusnya ke danau atau ke laut. Komponen masukan dalam DAS adalah curah hujan, sedangkan keluarannya terdiri dari debit air dan muatan sedimen (*Suripin, 2004*). Konsep Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan dasar dari semua perencanaan hidrologi tersusun dari DAS-DAS kecil, dan DAS kecil ini juga tersusun dari DAS-DAS yang lebih kecil lagi sehingga dapat didefinisikan sebagai suatu wilayah yang dibatasi oleh batas alam seperti punggung bukit-bukit atau gunung, maupun batas buatan seperti jalan atau tanggul dimana air hujan yang turun di wilayah tersebut memberi kontribusi aliran ke titik kontrol (*outlet*).

**B. Penentuan Curah Hujan Harian menggunakan Metode Polygon Thiessen**

Metode perhitungan berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Metode ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh stasiun hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun hujan terdekat. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa variasi hujan antara stasiun hujan yang satu dengan lainnya adalah linear dan stasiun hujannya dianggap dapat mewakili kawasan terdekat (*Suripin, 2004*). Metode ini cocok jika stasiun hujan tidak tersebar merata dan jumlahnya terbatas dibanding luasnya. Cara ini adalah dengan memasukkan faktor pengaruh daerah yang mewakili oleh stasiun hujan yang disebut faktor pembobot atau koefisien *Thiessen*. Untuk pemilihan stasiun hujan yang dipilih harus meliputi daerah aliran sungai yang akan dibangun. Besarnya koefisien *Thiessen* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (*CD.Soemarto, 1999*) :

$$C = \frac{A_i}{A_{total}}$$

Dimana :

C	=	Koefisien <i>Thiessen</i>
A <sub>i</sub>	=	Luas daerah pengaruh dari stasiun pengamatan (km <sup>2</sup> )
A <sub>total</sub>	=	Luas total dari DAS (km <sup>2</sup> )

Langkah-langkah metode *Thiessen* sebagai berikut :

1. Lokasi stasiun hujan di plot pada peta DAS. Antar stasiun dibuat garis lurus penghubung.
2. Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk poligon *Thiessen*. Semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan stasiun yang ada di

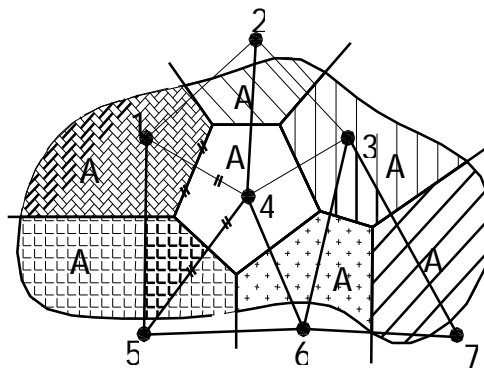
dalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap stasiun lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada stasiun tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan. Selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.1

3. Luas areal pada tiap-tiap poligon dapat diukur dengan planimeter dan luas total DAS (A) dapat diketahui dengan menjumlahkan luas poligon.
4. Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan rumus :

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Dimana :

- $\bar{R}$  = Curah hujan rata-rata DAS (mm)
- $A_1, A_2, \dots, A_n$  = Luas daerah pengaruh dari setiap stasiun hujan (km<sup>2</sup>)
- $R_1, R_2, \dots, R_n$  = Curah hujan pada setiap stasiun hujan (mm)
- n = Banyaknya stasiun hujan



Gambar 3.1 Metode Poligon *Thiessen*

### C. Curah Hujan Maksimum Harian Rata-Rata

Metode cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan hujan maksimum harian rata-rata DAS adalah sebagai berikut :

1. Tentukan hujan maksimum harian pada tahun tertentu di salah satu pos hujan.
2. Cari besarnya curah hujan pada tanggal-bulan-tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
3. Hitung hujan DAS dengan salah satu cara yang dipilih.
4. Tentukan hujan maksimum harian (seperti langkah 1) pada tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
5. Ulangi langkah 2 dan 3 setiap tahun.

Dari hasil rata-rata yang diperoleh (sesuai dengan jumlah pos hujan) dipilih yang tertinggi setiap tahun. Data hujan yang terpilih setiap tahun merupakan hujan maksimum harian DAS untuk tahun yang bersangkutan (*Suripin, 2004*).

### 3.2.2 Perhitungan Frekuensi Curah Hujan

Perhitungan curah hujan rencana digunakan untuk meramalkan besarnya hujan dengan periode ulang tertentu (*Soewarno, 1995*). Parameter untuk menentukan frekuensi curah hujan meliputi parameter statistik, jenis sebaran, dan uji kecocokan.

#### A. Parameter Statistik

Parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi meliputi parameter nilai rata-rata ( $\bar{X}$ ), standar deviasi ( $S_d$ ), koefisien variasi (Cv), koefisien kemiringan (Cs) dan koefisien *kurtosis* (Ck). Perhitungan parameter tersebut didasarkan pada data catatan tinggi hujan harian rata-rata maksimum 17 tahun terakhir.

1. Nilai rata-rata

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Dimana :

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

$X_i$  = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i  
 $n$  = jumlah data curah hujan

2. Standar deviasi

Ukuran sebaran yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar. Apabila penyebaran sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai  $S_d$  akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka nilai  $S_d$  akan kecil. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{X_i - \bar{X}\}^2}{n-1}}$$

Dimana :

$S_d$  = standar deviasi curah hujan  
 $\bar{X}$  = nilai rata-rata curah hujan  
 $X_i$  = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i  
 $n$  = jumlah data curah hujan

3. Koefisien variasi

Koefisien variasi (*coefficient of variation*) adalah nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata dari suatu sebaran. Koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Soewarno, 1995)

$$Cv = \frac{S_d}{\bar{X}}$$

Dimana :

$Cv$  = koefisien variasi curah hujan  
 $S_d$  = standar deviasi curah hujan

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

4. Koefisien kemencengan

Koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan (*assymetry*) dari suatu bentuk distribusi. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut (*Soewarno, 1995*) :

Untuk populasi :  $C_s = \frac{\alpha}{\sigma^3}$

Untuk sampel :  $C_s = \frac{a}{S_d^3}$

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^3$$

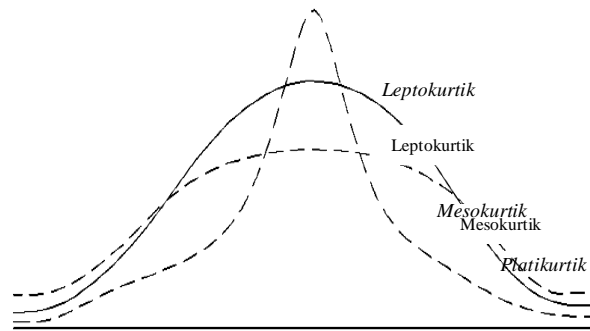
$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3$$

Dimana :

- $C_s$  = koefisien kemencengan curah hujan
- $\sigma$  = standar deviasi dari populasi curah hujan
- $S_d$  = standar deviasi dari sampel curah hujan
- $\mu$  = nilai rata-rata dari data populasi curah hujan
- $\bar{X}$  = nilai rata-rata dari data sampel curah hujan
- $X_i$  = curah hujan ke i
- n = jumlah data curah hujan
- $a, \alpha$  = parameter kemencengan

5. Koefisien *Kurtosis*

Koefisien *kurtosis* adalah suatu nilai yang menunjukkan keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal yang mempunyai  $C_k = 3$  yang dinamakan *mesokurtik*,  $C_k < 3$  berpuncak tajam yang dinamakan *leptokurtik*, sedangkan  $C_k > 3$  berpuncak datar dinamakan *platikurtik*. Grafik koefisien *kurtosis* dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Koefisien *Kurtosis*

Koefisien *Kurtosis* biasanya digunakan untuk menentukan keruncingan kurva distribusi, dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_k = \frac{MA(4)}{S_d^4}$$

Dimana :

- $C_k$  = koefisien *kurtosis*
- $MA(4)$  = momen ke-4 terhadap nilai rata-rata
- $S_d$  = standar deviasi

Untuk data yang belum dikelompokkan, maka :

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

dan untuk data yang sudah dikelompokkan

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

Dimana :

$C_k$	=	koefisien <i>kurtosis</i> curah hujan
$n$	=	jumlah data curah hujan
$X_i$	=	curah hujan ke $i$
$\bar{X}$	=	nilai rata-rata dari data sampel
$f_i$	=	nilai frekuensi variat ke $i$
$S_d$	=	standar deviasi

#### B. Jenis Sebaran

Sebaran yang dikaji meliputi analisa distribusi *Gumbel*, *Log Pearson* tipe III, *Normal*, *Log Normal*.

##### 1. Sebaran Gumbel Tipe I

Digunakan untuk analisis data maksimum, misal untuk analisis frekuensi banjir. Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode sebaran *Gumbel* Tipe I digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut (CD.Soemarto, 1999 :

$$X_T = \bar{X} + \frac{S}{S_n} (Y_T - Y_n)$$

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

Hubungan antara periode ulang  $T$  dengan  $Y_T$  dapat dihitung dengan rumus :

untuk  $T \geq 20$ , maka :  $Y = \ln T$

$$Y = -\ln \left[ -\ln \frac{T-1}{T} \right]$$



Dimana :

- $X_T$  = nilai hujan rencana dengan data ukur T tahun.
- $\bar{X}$  = nilai rata-rata hujan
- S = standar deviasi (simpangan baku)
- $Y_T$  = nilai reduksi variat ( *reduced variate* ) dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang T tahun.
- $Y_n$  = nilai rata-rata dari reduksi variat (*reduce mean*) nilainya tergantung dari jumlah data (n).
- $S_n$  = deviasi standar dari reduksi variat (*reduced standart deviation*) nilainya tergantung dari jumlah data (n).

Tabel *Reduced mean* ( $Y_n$ ) untuk metode Sebaran Gumbel tipe I , *Reduced Standard Deviation* ( $S_n$ ) untuk Metode Sebaran *Gumbel* Tipe 1 , dan *Reduced Variate* ( $Y_T$ ) untuk Metode Sebaran *Gumbel* Tipe 1 dapat dilihat pada Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Tabel 3.3

Tabel 3.1 *Reduced mean* ( $Y_n$ ) untuk metode Sebaran Gumbel tipe I

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5300	0,5820	0,5882	0,5343	0,5353
30	0,5363	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5400	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5463	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5468	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									

( Sumber:CD.Soemarto, 1999)

Tabel 3.2 *Reduced Standard Deviation* ( $S_n$ ) untuk Metode Sebaran *Gumbel* Tipe 1

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0315	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388

Tabel 3.2 ( Lanjutan )

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1923	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2046	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

( Sumber:CD.Soemarto, 1999)

Tabel 3.3 *Reduced Variate* ( $Y_T$ ) untuk Metode Sebaran *Gumbel* Tipe 1

Periode Ulang (Tahun)	<i>Reduced Variate</i>
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001
200	5,2960
500	6,2140
1000	6,9190
5000	8,5390
10000	9,9210

( Sumber:CD.Soemarto, 1999)

## 2. Sebaran Log-Pearson Tipe III

Digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Bentuk sebaran *Log-Pearson* tipe III merupakan hasil transformasi dari sebaran *Pearson* tipe III dengan menggantikan variat menjadi nilai logaritmik. Metode *Log-Pearson* tipe III apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut (CD.Soemarto, 1999) :

$$Y = \bar{Y} + K.S$$

Dimana :

- Y = nilai logaritmik dari X atau  $\log(X)$   
 X = data curah hujan  
 $\bar{Y}$  = rata-rata hitung (lebih baik rata-rata geometrik) nilai Y  
 S = deviasi standar nilai Y  
 K = karakteristik distribusi peluang *Log-Pearson* tipe III

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

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

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

Dimana :

- $\overline{\log(X)}$  = harga rata-rata logaritmik  
 n = jumlah data  
 $X_i$  = nilai curah hujan tiap-tiap tahun ( $R_{24}$  maks)

- Menghitung harga standar deviasinya dengan rumus berikut :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log(X)}\}^2}{n-1}}$$

Dimana :

- Sd = standar deviasi

- Menghitung koefisien *skewness* (Cs) dengan rumus :

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

Dimana :

Cs = koefisien *skewness*

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

$$\text{Log}(X_T) = \overline{\log(X)} + K.S_a$$

Dimana :

X<sub>T</sub> = curah hujan rencana periode ulang T tahun

K = harga yang diperoleh berdasarkan nilai Cs

- Menghitung koefisien *kurtosis* (Ck) dengan rumus :

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

Dimana :

Ck = koefisien *kurtosis*

- Menghitung koefisien variasi (Cv) dengan rumus :

$$C_v = \frac{S_d}{\overline{\log(X)}}$$

Dimana :

Cv = koefisien variasi

Sd = standar deviasi

Harga K untuk Metode Sebaran Log *Pearson* III dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Harga K untuk Metode Sebaran Log *Pearson* III

Koefisien Kemenceng an (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,396	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	2,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	2,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	2,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	2,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	2,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	2,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	2,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	2,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	2,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	2,761	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	1,488	1,606	1,733	1,837	2,035

Tabel 3.4 ( Lanjutan )

Koefisien Kemencengan (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
-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	1,200	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	0,035	1,069	1,089	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	1,995	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 :CD. Soemarto,1999)

### 3. Sebaran Normal

Digunakan dalam analisis hidrologi, misal dalam analisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi rata-rata curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan dan sebagainya. Sebaran normal atau kurva normal disebut pula sebaran *Gauss. Probability Density Function* dari sebaran normal adalah

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{X-\mu}{\sigma}\right]^2}$$

Dimana :

$P(X)$  = nilai logaritmik dari X atau log (X)

$\pi$  = 3,14

$E$  = 2,71

$X$  = variabel acak kontinu

$\mu$  = rata-rata nilai X

$\sigma$  = standar deviasi nilai X

Untuk analisis kurva normal cukup menggunakan parameter statistik  $\mu$  dan  $\sigma$ . Bentuk kurvanya simetris terhadap  $X = \mu$  dan grafiknya selalu di atas

sumbu datar X, serta mendekati (berasimtot) sumbu datar X, dimulai dari  $X = \mu + 3\sigma$  dan  $X - 3\sigma$ . Nilai mean = modus = median. Nilai X mempunyai batas  $-\infty < X < +\infty$ .

Luas dari kurva normal selalu sama dengan satu unit, sehingga :

$$P(-\infty < X < +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{X-\mu}{\sigma}\right]^2} dx = 1,0$$

Untuk menentukan peluang nilai X antara  $X = x_1$  dan  $X = x_2$ , adalah :

$$P(X_1 < X < X_2) = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{X-\mu}{\sigma}\right]^2} dx$$

Apabila nilai X adalah standar, dengan kata lain nilai rata-rata  $\mu = 0$  dan deviasi standar  $\sigma = 1,0$ , maka Persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}t^2}$$

Dengan,

$$t = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Persamaan diatas disebut dengan sebaran normal standar (*standard normal distribution*). Tabel 3.5 menunjukkan wilayah luas di bawah kurva normal, yang merupakan luas dari bentuk kumulatif (*cumulative form*) dan sebaran normal. Sedangkan Tabel 3.6 menunjukan Penentuan Nilai K pada Sebaran Normal

Tabel 3.5 Wilayah Luas Di bawah Kurva Normal (Sumber :Soewarno,1995)

1	0	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

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 3.5 ( Lanjutan)

1	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-2,7	0,0036	0,0034	0,0033	0,0032	0,0030	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
-2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
-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	0,0094	0,0089	0,0087	0,0084
-2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,01119	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	0,0548	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	0,50470	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



BAB III TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 3.5 ( Lanjutan)

1	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
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	0,8505	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	0,9541	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	0,9891	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9896	0,9901	0,9999	0,9999	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)

Tabel 3.6 Penentuan Nilai K pada Sebaran Normal

Periode Ulang T (tahun)	Peluang	k
1,001	0,999	-3,05
1,005	0,995	-2,58
1,010	0,990	-2,33
1,050	0,950	-1,64
1,110	0,900	-1,28
1,250	0,800	-0,84
1,330	0,750	-0,67
1,430	0,700	-0,52
1,670	0,600	-0,25
2,000	0,500	0
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	0,200	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 : Soewarno, 1995)

#### 4. Sebaran Log Normal

Sebaran log normal merupakan hasil transformasi dari sebaran normal, yaitu dengan mengubah nilai variat  $X$  menjadi nilai logaritmik variat  $X$ . Sebaran log-Pearson III akan menjadi sebaran log normal apabila nilai koefisien kemencengan  $C_s = 0,00$ . Metode log normal apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995):

$$X_T = \bar{X} + Kt.S$$

Dimana :

$X_T$  = besarnya curah hujan dengan periode ulang T tahun.

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

S = Standar Deviasi data hujan harian maksimum

$Kt$  = *Standard Variable* untuk periode ulang t tahun.

*Standard variable* ( $Kt$ ) untuk metode sebaran log normal dapat dilihat pada tabel 3.7

Tabel 3.7 *Standard Variable* ( $Kt$ ) untuk Metode Sebaran Log Normal

T (Tahun)	$Kt$	T (Tahun)	$Kt$	T (Tahun)	$Kt$
1	-1.86	20	1.89	90	3.34
2	-0.22	25	2.10	100	3.45
3	0.17	30	2.27	110	3.53
4	0.44	35	2.41	120	3.62
5	0.64	40	2.54	130	3.70
6	0.81	45	2.65	140	3.77
7	0.95	50	2.75	150	3.84
8	1.06	55	2.86	160	3.91
9	1.17	60	2.93	170	3.97
10	1.26	65	3.02	180	4.03
11	1.35	70	3.08	190	4.09
12	1.43	75	3.60	200	4.14
13	1.50	80	3.21	221	4.24
14	1.57	85	3.28	240	4.33
15	1.63	90	3.33	260	4.42

((Sumber : CD. Soemarto, 1999)

C. Uji Sebaran

Untuk menjamin bahwa pendekatan empiris benar-benar bisa diwakili oleh kurva teoristis, perlu dilakukan uji meliputi plotting data, uji keselarasan *chi square* dan *Smirnov Kolmogorof*. Pedoman Pemilihan Sebaran (Sumber : Sutiono. dkk) pada Tabel 3.8

Tabel 3.8 Pedoman Pemilihan Sebaran

DISTRIBUSI	NORMAL	GUMBEL	LOG-NORMAL	LOG-PEARSON III
Parameter	$C_s \approx 0$	$C_s \approx 1,1396$	$C_s \approx 1,137$	$C_s \neq 0$
	$C_k \approx 3$	$C_k \approx 5,4002$	$C_k \approx 3C_v$	$C_v \approx 0,3$

(Sumber : Sutiono. dkk)

1. Plotting Data

Plotting data distribusi frekuensi dalam kertas probabilitas bertujuan untuk mencocokkan rangkaian data dengan jenis sebaran yang dipilih, dimana kecocokan dapat dilihat dengan persamaan garis yang membentuk garis lurus (Soewarno, 1995).

Plotting data pada *statistic paper* dilakukan dengan cara mengurutkan data dari besar ke kecil atau sebaliknya. Penggambaran posisi (*plotting position*) yang dipakai adalah cara yang dikembangkan oleh Weibull dan Gumbel, yaitu :

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

Dimana :

$P(X_m)$  = data yang telah dirangking dari kecil ke besar

m = nomor urut

n = jumlah data

Dalam *statistic paper*, simbol titik merupakan nilai curah hujan maksimum harian rata-rata terhadap  $P(X_m)$ , sedangkan garis lurus merupakan fungsi jenis sebaran dengan periode ulang tertentu, yaitu:

$$\text{Log}X_t = \text{Log}X_{rt} + k \cdot S_d$$

Dimana :

$X_t$  = Curah hujan

k = Koefisien tiap distribusi

$S_d$  = Standar deviasi

2. Uji Kecocokan Smirnov-Kolmogorof

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorof dilakukan dengan membandingkan probabilitas untuk tiap-tiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat

perbedaan ( $\Delta$ ). Perbedaan maksimum yang dihitung ( $\Delta$  maks) dibandingkan dengan perbedaan kritis ( $\Delta_{cr}$ ) untuk suatu derajat nyata dan banyaknya variat tertentu, maka sebaran sesuai jika  $(\Delta_{maks}) < (\Delta_{cr})$ .

Rumus yang dipakai (Soewarno, 1995)

$$\alpha = \frac{P_{\max}}{P_{(x)}} - \frac{P_{(xi)}}{\Delta_{Cr}}$$

Prosedur uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorof* adalah :

Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya nilai masing-masing data tersebut :

- $X_1 \rightarrow P(X_1)$
- $X_2 \rightarrow P(X_2)$
- $X_m \rightarrow P(X_m)$
- $X_n \rightarrow P(X_n)$

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

- $X_1 \rightarrow P'(X_1)$
- $X_2 \rightarrow P'(X_2)$
- $X_m \rightarrow P'(X_m)$
- $X_n \rightarrow P'(X_n)$

2. Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

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

3. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov – Kolmogorof test*), tentukan harga  $D_0$  pada Tabel 3.9.
- 4.

Tabel 3.9 Nilai  $D_0$  kritis untuk uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorof*

Jumlah data N	$\alpha$ derajat kepercayaan			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36

Tabel 3.9 ( Lanjutan )

Jumlah data N	α derajat kepercayaan			
	0,20	0,10	0,05	0,01
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n>50	1,07/n	1,22/n	1,36/n	1,63/n

Dimana α = derajat kepercayaan

( Sumber : Soewarno,1995)

#### D. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau.

Rumus yang digunakan dipakai jika data curah hujan yang ada hanya curah hujan harian (*sosrodarsono, 2003*):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left[ \frac{24}{t} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Dimana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (jam)

R<sub>24</sub> = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

#### 3.2.3 Perhitungan Debit Banjir Rencana

Analisa debit banjir rencana adalah analisa untuk mengetahui debit banjir pada tahun rencana 20, 50 dan 100 tahunan. Metode yang digunakan ada dua cara yaitu Hidrograf Satuan Sintetik GAMA I dan HEC-HMS dengan *passing capacity*

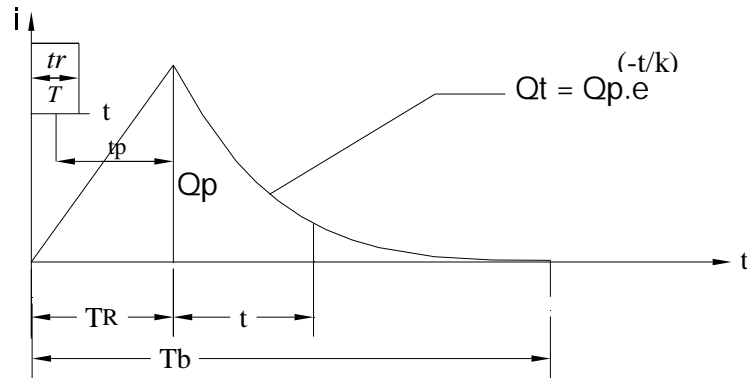
A. Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I

Cara ini dipakai sebagai upaya memperoleh hidrograf satuan suatu DAS yang belum pernah diukur. Dengan pengertian lain tidak tersedia data pengukuran debit maupun data AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) pada suatu tempat tertentu dalam sebuah DAS yang tidak ada stasiun hidrometernya (*Soemarto, 1999*). Cara ini memanfaatkan parameter DAS untuk memperoleh hidrograf satuan sintetik. Hal tersebut didasarkan pada pemikiran bahwa pengalihan hujan menjadi aliran baik pengaruh translasi maupun tampungannya dapat dijelaskan dipengaruhi oleh sistem DAS-nya. Hidrograf satuan Sintetik Gama I dibentuk oleh empat variabel pokok yaitu waktu naik ( $T_R$ ), debit puncak ( $Q_p$ ), waktu dasar ( $T_B$ ) dan koefisien tumpungan ( $k$ ) (*Sri Harto, 1993*).

Kurva naik merupakan garis lurus, sedangkan kurva turun dibentuk oleh persamaan

$$Q_t = Q_p \cdot e^{\left(\frac{-t}{k}\right)}$$

Sketsa Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I terdapat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Sketsa Hidrograf satuan sintetik Gama I

Dimana :

$Q_t$  = debit yang diukur dalam jam ke-t sesudah debit puncak dalam ( $m^3/det$ )

$Q_p$  = debit puncak dalam ( $m^3/det$ )

$T$  = waktu yang diukur dari saat terjadinya debit puncak (jam)

$K$  = koefisien tumpungan dalam jam

1. Waktu naik ( $T_R$ )

$$T_R = 0,43 \left( \frac{L}{100.SF} \right)^3 + 1,0665SIM + 1,2775$$

Dimana :

- $T_R$  = waktu naik (jam)  
 $L$  = panjang sungai (km)  
 $SF$  = faktor sumber yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat I dengan panjang sungai semua tingkat  
 $SIM$  = faktor simetri ditetapkan sebagai hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas relatif DAS sebelah hulu ( $RUA$ )  
 $WF$  = faktor lebar adalah perbandingan antara lebar DAS yang diukur dari titik di sungai yang berjarak 0,75 L dan lebar DAS yang diukur dari titik yang berjarak 0,25 L dari tempat pengukuran

2. Debit puncak ( $Q_P$ )

$$Q_p = 0,1836A^{0,5886} TR^{-0,4008} JN^{0,5886}$$

Dimana :

- $Q_p$  = debit puncak ( $m^3/det$ )  
 $JN$  = jumlah pertemuan sungai yaitu jumlah seluruh pertemuan sungai di dalam DAS  
 $T_R$  = waktu naik (jam)  
 $A$  = luas DAS ( $km^2$ ).

3. Waktu dasar ( $T_B$ )

$$T_B = 27,4132 \cdot TR^{0,1457} \cdot S^{-0,0986} \cdot SN^{0,7344} RUA^{0,2574}$$

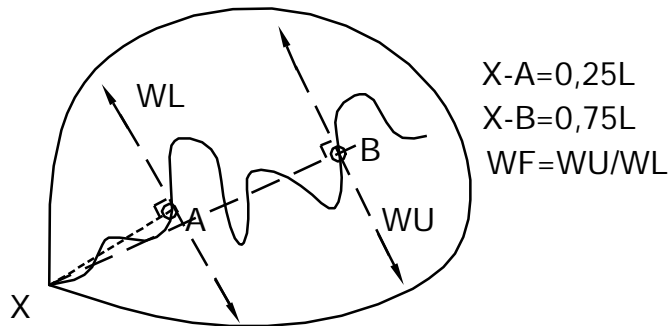
Dimana :

- $T_B$  = waktu dasar (jam)  
 $T_R$  = waktu naik (jam)

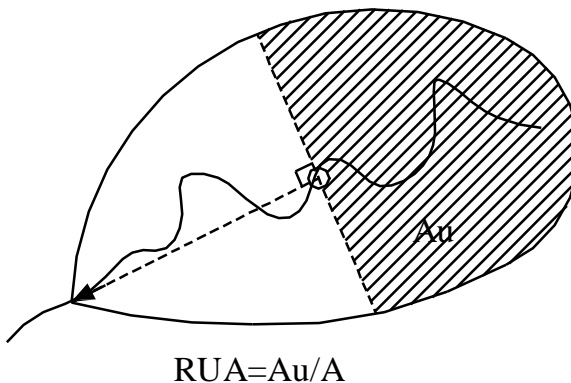


- $S$  = landai sungai rata-rata
- $SN$  = nilai sumber adalah perbandingan antara jumlah segmen sungai-sungai tingkat 1(satu) dengan jumlah sungai semua tingkat untuk penetapan tingkat sungai
- $RUA$  = luas DAS sebelah hulu ( $km^2$ ), yaitu perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS ( $A_u$ ), dengan luas seluruh DAS.

Sketsa Penetapan WF dan RUA dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5



Gambar 3.4 Sketsa Penetapan WF



Gambar 3.5 Sketsa Penetapan RUA

Dimana :

- WU = Lebar DAS diukur di titik sungai berjarak 0,75 L dari titik kontrol (km)
- WL = Lebar DAS diukur di titik sungai berjarak 0,25 L dari titik kontrol (km)
- A = Luas Daerah Aliran Sungai (km<sup>2</sup>)
- AU = Luas Daerah Aliran Sungai di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara titik kontrol dengan titik dalam sungai, dekat titik berat DAS (km<sup>2</sup>)
- H = Beda tinggi antar titik terjauh sungai dengan titik kontrol (m)
- WF = WU/ WL
- RUA = AU /DAS
- SN = Jml L<sub>1</sub>/L = Nilai banding antara jumlah segmen sungai tingkat satu dengan jumlah segmen sungai semua tingkat = Kerapatan jaringan = Nilai banding panjang sungai dan luas DAS
- JN = Jumlah pertemuan anak sungai didalam DAS

4. Koefisien tampungan (k)

$$k = 0,5617.A^{0,1798} .S^{-0,1446} .SF^{-1,0897} .D^{0,0452}$$

Dimana :

- A = Luas Daerah Aliran Sungai (km<sup>2</sup>)
- S = Kemiringan Rata-rata sungai diukur dari titik kontrol
- SF = Faktor sumber yaitu nilai banding antara panjang sungai tingkat satu dan jumlah panjang sungai semua tingkat
- D = Jumlah L/DAS

Dalam pemakaian cara ini masih ada hal-hal lain yang perlu diperhatikan, di antaranya sebagai berikut :

1. Penetapan hujan efektif untuk memperoleh *hidrograf* dilakukan dengan menggunakan indeks-infiltrasi.  $\Phi$  index adalah menunjukkan laju kehilangan air hujan akibat *depression storage*, infiltrasi dan sebagainya. Untuk memperoleh indeks ini agak sulit, untuk itu dipergunakan pendekatan tertentu (*Barnes*, 1959). Perkiraan dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh parameter DAS yang secara hidrologi dapat diketahui pengaruhnya terhadap indeks infiltrasi (*Sri Harto*, 1993):

Persamaan pendekatannya adalah sebagai berikut :

$$\Phi = 10,4903 - 3,859 \times 10^{-6} \cdot A^2 + 1,6985 \times 10^{-13} (A/SN)^4$$

2. Untuk memperkirakan aliran dasar digunakan persamaan pendekatan berikut ini. Persamaan ini merupakan pendekatan untuk aliran dasar yang tetap, besarnya dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_b = 0,4751 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,9430}$$

Dimana :

$Q_b$  = aliran dasar

$A$  = luas DAS (km<sup>2</sup>)

$D$  = kerapatan jaringan kurus (*drainage density*) atau indeks kerapatan sungai yaitu perbandingan jumlah panjang sungai semua tingkat dibagi dengan luas DAS

#### B. Metode *Passing Capacity*

*Metode Passing Capacity* digunakan untuk mengetahui debit berdasarkan tinggi muka air banjir pada sungai tersebut. Metode ini menggunakan *software* HEC-RAS, *software* tersebut digunakan untuk menentukan debit pada morfologi sungai alami berdasarkan elevasi muka air banjir dengan cara mentaksir debit pada elevasi yang telah ditentukan .

### C. HEC-HMS

HEC-HMS merupakan model terbaru yang telah dibuat untuk mensimulasikan hubungan hujan-air larian permukaan. HEC-HMS merupakan singkatan bagi *Hydrological Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*. Model ini telah dibuat oleh Tentera Amerika Serikat dari Bagian Pusat Penyelidikan Pencitraan Hidrologi. Model ini menyediakan berbagai pilihan untuk mensimulasikan proses hubungan hujan-air larian permukaan. Selain menganalisis unit hidrograf dan pilihan rekayasa hidrologi. Elemen hidrologi adalah termasuk *subbasin, reach, junction, reservoir, diversion, source* dan *sink*. Kawasan DAS dimodelkan dengan menyusun elemen hidrologi dalam satu rangkaian yang saling berhubung.

Elemen hidrologi merupakan bagian - bagian di dalam sebuah model *basin*. Ia menerangkan proses saling berhubung yang berlaku di muka bumi seperti kawasan tadahan, saluran, pertemuan dua sungai dan lain-lain lagi. Setiap elemen ini berperanan menerangkan hubungan antara kawasan tadahan dengan curahan yang berlaku. Terdapat 3 jenis elemen hidrologi yang dipakai disini antaranya :

- *Subbasin*

*Subbasin* berkonsepkan aliran keluar saja dimana beranggapan tiada aliran masuk ke dalam kawasan tadahan. Pengaliran boleh dikira dengan tiga cara mudah yaitu menolak kehilangan yang berlaku daripada data kaji cuaca yang diperolehi, menukar lebih curahan dan juga menjumlah aliran dasar. Ia boleh digunakan untuk berbagai luasan kawasan tadahan.

- *Reach*

*Reach* berkonsepkan satu atau lebih aliran masuk dan satu sahaja aliran keluar. Aliran masuk datang dari unsur yang lain dalam model *basin*. Konsepnya adalah sama seperti *reservoir* jika terdapat lebih daripada satu aliran masuk. Aliran keluar pula dihitung menyerupai seperti konsep saluran terbuka.

- *Junction*

*Junction* berkonsepkan suatu unsur atau lebih aliran masuk dan satu aliran keluar. Dijumlahkan semua aliran masuk untuk mendapatkan aliran keluar dengan menganggap permulaan simpang adalah sifat.

### 3.3 Analisa Hidrolika

Parameter analisa hidrolika meliputi analisa sungai eksisting dan sesudah normalisasi dengan debit rencana yang telah direncanakan.

#### 3.3.1 Metode Tahapan Standart (Standart Step Method)

Metode ini digunakan untuk mengetahui tinggi muka air akibat pengaruh efek pembedungan akibat pasang atau pun akibat beda elevasi pada pertemuan sungai (antara sungai utama dengan anak sungai)

Metode ini dikembangkan dari persamaan energi total dari aliran pada saluran terbuka. Cara perhitungannya dimulai dengan menghitung kedalaman air normal dari saluran percabangan, besarnya dapat dihitung dengan rumus Manning (*Suripin, Diktat Hidroulika*) :

$$Q = A \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_n^{\frac{1}{2}}$$

Keterangan:

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

A = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)

n = Angka Kekasaran Manning

R = Jari-jari hidrolis (m)

S<sub>n</sub>= Kemiringan Dasar Saluran

Berikutnya menghitung kedalaman kritis, besarnya dapat dihitung dengan persamaan (*Suripin, Diktat Hidroulika*)

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{B}$$

Keterangan:

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

A = Luas Penampang Melintang (m<sup>2</sup>)

g = Gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

B = Lebar Dasar Saluran (m)

Langkah selanjutnya yaitu dengan mengisi kolom-kolom sebagai berikut

- Kolom (1) = Kemiringan dasar saluran
- Kolom (2) = Lokasi titik dimana kedalaman airnya dihitung
- Kolom (3) = Elevasi dasar saluran dihitung dari elevasi dasar saluran hilir (Z<sub>1</sub>=0)
 
$$Z_2 = Z_1 + S_0 \cdot (X_2 - X_1)$$
- Kolom (4) = Perkiraan kedalaman air
- Kolom (5) = Luas penampang basah yang dihitung untuk setiap kedalaman
- Kolom (6) = Kecepatan Aliran  $v = \frac{Q}{A}$ , dimana luas penampang basah (A) yang diambil dari kolom 5
- Kolom (7) = Tinggi Kecepatan
- Kolom (8) = Total tinggi energy (jumlah dari  $z + y + \frac{v^2}{2g}$ )
- Kolom (9) = Jari-jari hidrolis untuk kedalaman air  $R = \frac{A}{P}$
- Kolom(10) = Kemiringan garis energi. Dihitung dengan rumus  $\frac{Q^2 \cdot n^2}{A^2 \cdot R^{4/3}}$
- Kolom(11) = Rata-rata sf
- Kolom(12) = Jarak antar titik yang dihitung
- Kolom(13) = Kehilangan tinggi energi  $hf = \Delta x \cdot \overline{sf}$
- Kolom(14) = hf + H<sub>1</sub>
- Kolom(15) = Jari-jari hidrolis

### 3.3.2 HEC-RAS

Untuk mengetahui kapasitas alur sungai pada kondisi sekarang terhadap banjir rencana digunakan program HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center-River Analysis System*). HEC-RAS adalah sebuah sistem yang didesain untuk penggunaan yang interaktif dalam lingkungan yang bermacam-macam. Ruang lingkup HEC-RAS adalah menghitung profil muka air dengan pemodelan aliran *steady* dan *unsteady*, serta penghitungan pengangkutan sedimen. Elemen yang paling penting dalam HEC-RAS adalah tersedianya geometri saluran, baik memanjang maupun melintang.

#### A. Profil Muka Air Pada aliran *Steady*

Dalam bagian ini HEC-RAS memodelkan suatu saluran dengan aliran *steady* berubah lambat laun. Sistem ini dapat mensimulasikan aliran pada seluruh jaringan saluran ataupun pada saluran tunggal tanpa percabangan, baik itu aliran kritis, subkritis, superkritis ataupun campuran sehingga didapat profil muka air yang diinginkan.

Konsep dasar dari perhitungan adalah menggunakan persamaan energi dan persamaan momentum. Kehilangan energi juga di perhitungkan dalam simulasi ini dengan menggunakan prinsip gesekan pada saluran, belokan serta perubahan penampang, baik akibat adanya jembatan, gorong-gorong ataupun bendung pada saluran atau sungai yang ditinjau.

#### B. Profil Muka Air Pada Aliran *Unsteady*

Pada sistem pemodelan ini, HEC-RAS mensimulasikan aliran *unsteady* pada jaringan saluran terbuka. Konsep dasarnya adalah persamaan aliran *unsteady* yang dikembangkan oleh Dr. Robert L. Barkau's UNET model (Barkau, 1992 dan HEC, 1999). Pada awalnya aliran unsteady hanya di disain untuk memodelkan aliran subkritis, tetapi versi terbaru dari HEC-RAS yaitu versi 3.1 dapat juga untuk memodelkan aliran superkritis, kritis, subkritis ataupun campuran serta loncatan hidrolis. Selain itu penghitungan kehilangan energi pada gesekan saluran, belokan serta perubahan penampang juga diperhitungkan.

C. Konsep Perhitungan Profil Muka Air dalam HEC-RAS

Dalam HEC-RAS penampang sungai atau saluran ditentukan terlebih dahulu, kemudian luas penampang akan dihitung.

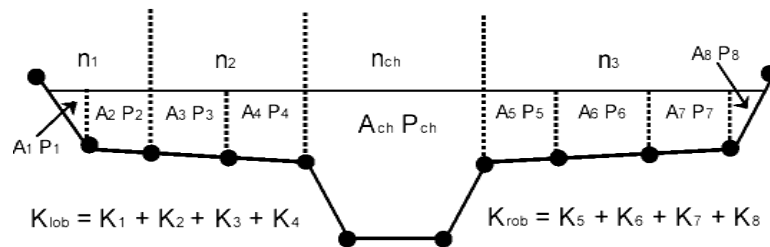
Untuk mendukung fungsi saluran sebagai penghantar aliran maka penampang saluran di bagi atas beberapa bagian. Pendekatan yang dilakukan HEC-RAS adalah membagi area penampang berdasarkan dari nilai n (koefisien kekasaran manning) sebagai dasar bagi pembagian penampang. setiap aliran yang terjadi pada bagian dihitung dengan menggunakan persamaan Manning :

$$Q = KS_i^{1/2} \quad \text{dan} \quad K = \frac{1,486}{n} AR^{2/3}$$

Dimana,

- K = nilai pengantar aliran pada unit
- n = koefisien kekasaran manning
- A = luas bagian penampang
- R = jari-jari hidrolis

Perhitungan nilai K dapat dihitung berdasarkan kekasaran manning yang dimiliki oleh bagian penampang tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Contoh Penampang Saluran Dalam HEC-RAS



Setelah penampang ditentukan maka HEC-RAS akan menghitung profil muka air. Konsep dasar penghitungan profil permukaan air berdasarkan persamaan energi yaitu

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Dimana :

Z = fungsi titik diatas garis referensi

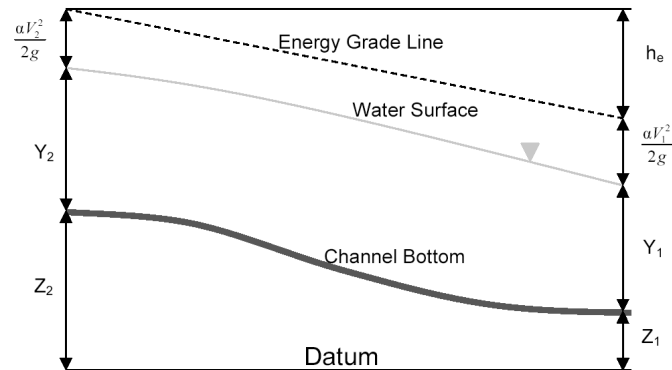
Y = fungsi tekanan di suatu titik

V = kecepatan aliran

$\alpha$  = koefisien kecepatan

$h_e$  = energi head loss

Gambar 3.7 menggambarkan persamaan energi pada saluran terbuka pada program HEC-RAS



Gambar 3.7 Penggambaran Persamaan Energi Pada Saluran Terbuka

Nilai  $h_e$  didapat dengan persamaan :

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Dimana,

L = jarak antara dua penampang

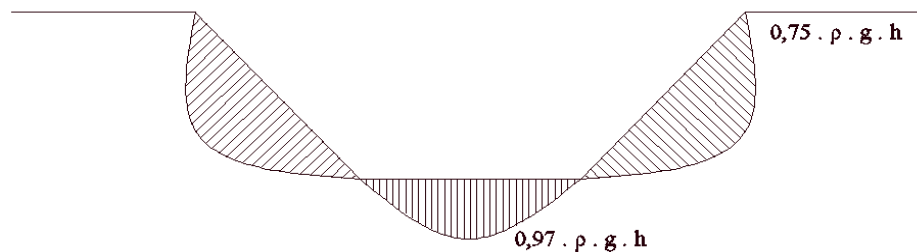
Sf = kemiringan aliran

C = koefisien kehilangan energi (penyempitan, pelebaran atau belokan)

Langkah berikutnya dalam perhitungan HEC-RAS adalah dengan mengasumsikan nilai muka air (*water surface*) pada penampang awal saluran (dalam hal ini penampang di hilir). Kemudian dengan menggunakan persamaan energi diatas maka profil muka air untuk semua penampang di saluran dapat di ketahui.

### 3.4 Stabilitas Alur Sungai

Butiran tanah pembentuk penampang sungai harus stabil terhadap aliran yang terjadi, karena akibat pengaruh kecepatan aliran dapat mengakibatkan penggerusan pada tebing maupun dasar sungai. Maka perlu dicek terhadap stabilitas butiran pada tebing dan dasar sungai. Gambar 3.8 Tegangan geser yang terjadi pada penampang sungai



Gambar 3.8 Tegangan Geser Penampang Sungai

Sedangkan berdasarkan hasil penyelidikan, besarnya tegangan yang terjadi adalah

$$\tau_b = 0,97 . \rho . g . h . I \text{ (pada dasar sungai)}$$

$$\tau_s = 0,75 . \rho . g . h . I \text{ (pada talud sungai)}$$

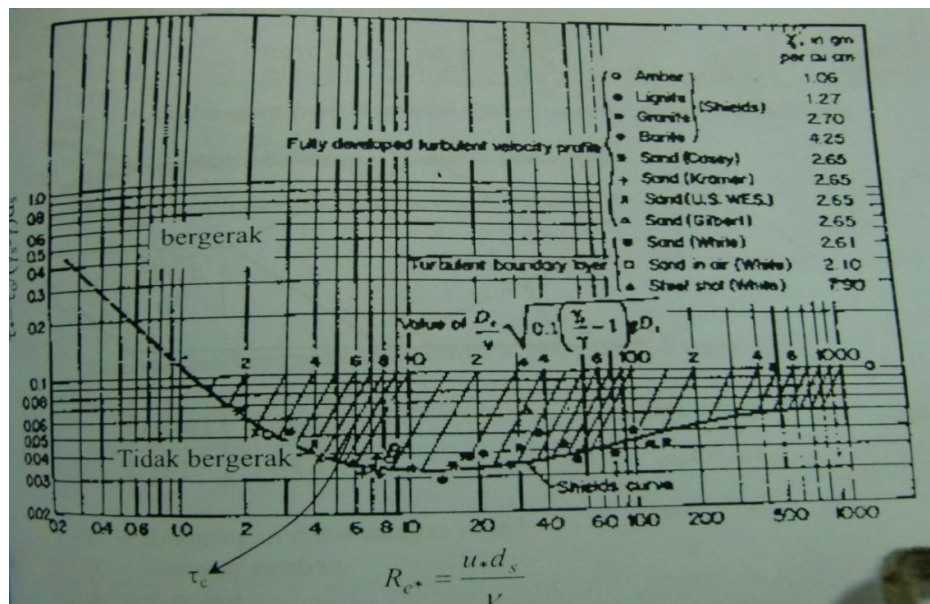
Dimana :

$\rho$  = Density air

$h$  = Tinggi air

$I$  = Kemiringan dasar sungai

Stabilitas dasar sungai perlu dilakukan checking. Untuk mencegah adanya erosi yang mengakibatkan degradasi dasar sungai, dan harga dari tegangan geser harus lebih kecil dari tegangan geser yang diijinkan. Untuk mencari dapat dicari dengan menggunakan diagram *shields* pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Diagram *Shields*

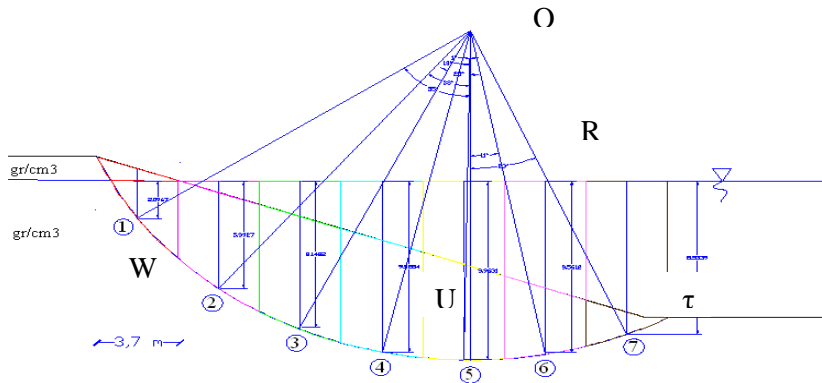
Sebagai syarat stabil, harga tersebut harus lebih kecil dari pada tegangan geser yang diijinkan ( $\tau_b \leq$  dan  $\tau_s \leq$  ).

### 3.3.3 Stabilitas Lereng Sungai Terhadap Longsoran

#### A. Metode Irisan Bidang Luncur Bundar

Longsoran atau *landslide* merupakan pergerakan massa tanah secara perlahan-lahan melalui bidang longsoran karena tidak stabil akibat gaya-gaya yang bekerja. Untuk memperhitungkan longsoran, maka bidang longsoran dibagi dalam beberapa bagian atau segmen. Apabila lebar segmen semakin kecil, maka

akan semakin teliti. Perhitungan berdasarkan pada keadaan terburuk, yaitu pada waktu muka air banjir surut dan muka air tanah dalam tanggul masih tinggi. Secara praktis *landslide* adalah gerakan massa tanah secara perlahan dalam waktu relatif tetap. Gambar bidang longsoran dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Bidang Longsoran

- O = Titik pusat longsoran
- R = Jari-jari bidang longsor
- W = Berat segmen / irisan
- $\tau$  = Gaya geser
- U = Akibat tekanan air pori

Gaya-gaya yang tegak lurus bidang longsor : N atau  $W \cos\theta$  dan U

Gaya-gaya yang searah bidang longsor : T atau  $W \sin\theta$  dan  $\tau$

Gaya-gaya yang menahan :  $C \times L$  dan  $(N \tan\theta)$

Angka keamanan (Fs) :  $\frac{C + (N \tan\theta) + \tau}{W \sin\theta} \geq 1,2$

Pengaruh tekanan air pori (U)

Angka keamanan (Fs) :  $\frac{C + (N \tan\theta) + \tau - U \tan\theta}{W \sin\theta} \geq 1,2$

B. Geo Slope

Analisis kestabilan lereng sungai terhadap longsoran dapat dihitung menggunakan software Geo-Slope. Dalam menganalisis keamanan dari lereng sungai pada software Geo-Slope digunakan analisis *slpoe/w*. Dengan analisis ini dapat diketahui angka keamanan (*safety factor*) dan bentuk bidang luncur dari lereng tersebut. Hasil dari analisis ini merupakan parameter kestabilan dari lereng tersebut. Data-data yang diperlukan dalam analisis kestabilan lereng dengan bantuan Geo-Slope adalah :

1. Geometri data yaitu gambaran dari bentuk stratigrafi dari pelapisan tanah yang ada.
2. Berat jenis tanah.
3. Koefisien geser tanah ( C )
4. Sudut geser dalam tanah (  $\emptyset$  )
5. Tekanan air pori
6. Koefisien beban gempa (seismik)