

## BAB III TINJAUAN PUSTAKA

### 3.1. Tinjauan Umum

Perencanaan pengendalian banjir memerlukan bidang – bidang ilmu pengetahuan lain yang dapat mendukung untuk memperoleh hasil yang baik. Di samping itu suksesnya program pengendalian banjir juga tergantung dari aspek lainnya yang menyangkut sosial, ekonomi, lingkungan, institusi, hukum, dll.

Dalam perencanaan pengendalian banjir di DAS Jajar ini memerlukan tinjauan pustaka untuk mengetahui dasar-dasar teori dalam mengendalikan banjir.

### 3.2 Analisa Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi, seperti besarnya curah hujan, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai dan lain – lain yang akan selalu berubah terhadap waktu.

#### 3.2.1 Debit Banjir

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

##### A. Curah Hujan Rencana

Data curah hujan dan debit merupakan data yang paling fundamental dalam perencanaan pengendalian banjir sungai Jajar. 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.1. 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. 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*).

A.2. 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 menggambar 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. 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) :

$$C = \frac{A_i}{A_{total}} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

C = Koefisien *Thiessen*

A<sub>i</sub> = Luas daerah pengaruh dari stasiun pengamatan i (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.

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 :

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (3.2)$$

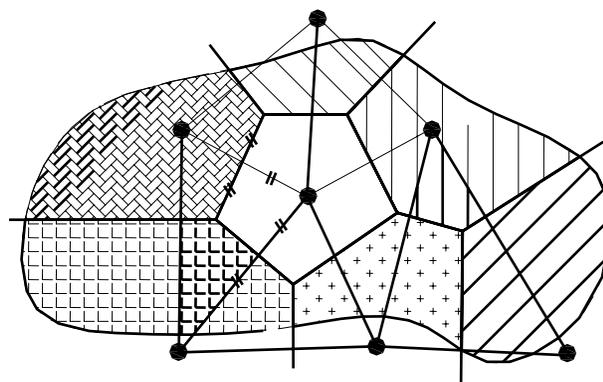
Dimana :

$\bar{R}$  = 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

A.3. Curah Hujan Maksimum Harian Rata-Rata

Metode 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

## B. Perhitungan Intensitas Curah Hujan

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

### B.1. Parameter Statistik

Parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi meliputi parameter- parameter sebagai berikut :

#### 1. Standar Deviasi ( $\sigma_x$ )

Deviasi standar (*Standard Deviation*) merupakan ukuran sebaran yang paling banyak digunakan. Apabila penyebaran sangat besar terhadap nilai rata-rata, maka nilai  $\sigma_x$  akan besar, akan tetapi jika penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka nilai  $\sigma_x$  akan kecil pula. Deviasi standar dapat dihitung dengan rumus berikut (Soewarno, 1995) :

$$\sigma_x = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}{(n - 1)} \dots\dots\dots(3.3)$$

#### 2. Koefisien variasi

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

$$Cv = \frac{\sigma}{Rr} \dots\dots\dots(3.4)$$

**3. Koefisien Skewness (Cs)**

Koefisien *skewness* (kemencengan) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (asimetri) dari suatu bentuk distribusi. Apabila kurva frekuensi dari suatu distribusi mempunyai ekor memanjang ke kanan atau ke kiri terhadap titik pusat maksimum, maka kurva tersebut tidak akan berbentuk simetri. Keadaan tersebut disebut menceng ke kanan atau ke kiri. Pengukuran kemencengan adalah untuk mengukur seberapa besar kurva frekuensi dari suatu distribusi tidak simetri atau menceng. Ukuran kemencengan dinyatakan dengan besarnya koefisien kemencengan atau koefisien *skewness*, dan dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$Cs = \frac{n * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n - 1) * (n - 2) * S^3} \dots\dots\dots(3.5)$$

**4. Koefisien Kurtosis**

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi dan sebagai pembandingnya adalah distribusi normal. Koefisien kurtosis (*Coefficient of Kurtosis*) dirumuskan sebagai berikut:

$$Ck = \frac{n^2 * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n - 1) * (n - 2) * (n - 3) * S^4} \dots\dots\dots(3.6)$$

Dari harga parameter statistik tersebut akan dipilih jenis distribusi yang sesuai. Dengan menggunakan cara penyelesaian analisa frekuensi, penggambaran ini dimungkinkan lebih banyak terjadinya kesalahan. Maka untuk mengetahui tingkat pendekatan dari hasil penggambaran tersebut, dapat dilakukan pengujian kecocokan data dengan menggunakan cara Uji Chi Kuadrat (*Chi Square Test*) dan plotting data.

**B.2. Jenis Sebaran**

Sebaran yang dikaji meliputi analisa distribusi *Gumbel* Tipe I, *Log Pearson*, *Normal*, *Log Normal*.

**1. Sebaran Gumbel Tipe I**

Sebaran *Gumbel* Tipe I umumnya digunakan untuk analisis data maksimum. Fungsi metode *Gumbel* merupakan fungsi eksponensial ganda.

Rumus Umum:

$$X_{Tr} = \bar{x} + \sigma x * Kr \dots\dots\dots(3.7)$$

dimana:

$X_{Tr}$  = tinggi hujan untuk periode ulang T tahun (mm)

$\bar{x}$  = harga rata-rata data hujan (mm)

$\sigma x$  = standar deviasi bentuk normal (mm)

Kr = faktor frekuensi *Gumbel*

Faktor frekuensi *Gumbel* merupakan fungsi dan masa ulang dari distribusi

$$Kr = \frac{Yt - Yn}{Sn} \dots\dots\dots(3.8)$$

*(Suripin, 2004)*

Dimana:

$Yt$  = *Reduced Variate* (fungsi periode ulang T tahun)

$Yn$  = harga rata-rata *Reduced Mean*

$\sigma x$  = *Reduced Standard Deviation*

**Tabel 3.1.** *Reduced mean (Yn) 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

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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: Soewarno, 1995)

**Tabel 3.2.** Reduced Standard Deviation ( $\sigma_x$ ) 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
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: Soewarno, 1995)

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

Periode Ulang (Tahun)	Reduced Variate
2	0,3065
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 (Soewarno, 1995) :

$$Y = \bar{Y} + K \cdot \sigma_x \dots\dots\dots(3.9)$$

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
- $\sigma_x$  = 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 :

$$\overline{\log(X)} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i)}{n} \dots\dots\dots(3.10)$$

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 :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dimana :

$\sigma x$  = standar deviasi

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

$$C_s = \frac{n * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) * (n-2) * S^3} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dimana :

Cs = koefisien *skewness*

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

$$\text{Log}(X_T) = \overline{\log(X)} + K * \sigma x \dots\dots\dots(3.13)$$

Dimana :

$X_T$  = curah hujan rencana periode ulang T tahun

K = harga yang diperoleh berdasarkan nilai Cs

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

$$C_k = \frac{n^2 * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1) * (n-2) * (n-3) * S^4} \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana :

Ck = koefisien *kurtosis*

- Menghitung koefisien variasi (Cv) dengan rumus :

$$C_v = \frac{\sigma x}{\bar{X}} \dots\dots\dots(3.15)$$

Dimana :

Cv = koefisien variasi

$\sigma x$  = standar deviasi

**3. Sebaran Log Normal**

Distribusi Log Normal merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah nilai variat menjadi nilai logaritmik variat X. Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan metode ini adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$X_t = X_n + \sigma x * K_t \dots\dots\dots(3.16)$$

dimana :

$X_t$  = besarnya curah hujan yang mungkin terjadi dengan periode ulang T tahun.

$X_{rt}$  = curah hujan rata – rata.

$\sigma x$  = standar deviasi data hujan maksimum tahunan.

$K_t$  = standar variabel untuk periode ulang t tahun yang besarnya diberikan pada Tabel 3.5.

**Tabel 3.4.** Standard Variable ( $K_t$ ) untuk Metode Sebaran Log Normal

T	Kt	T	Kt	T	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

(Soemarto, 1999)

#### 4. 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

(Soewarno, 1995):

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

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. 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)

**B.3. Uji Sebaran**

Untuk menjamin bahwa pendekatan empiris benar-benar bisa diwakili oleh kurva teoritis, perlu dilakukan uji meliputi plotting data, uji keselarasan *chi square* dan *Smirnov Kolmogorof*.

Tabel 3.6. Pedoman Pemilihan Sebaran

DISTRIBUSI	NORMAL	GUMBEL	LOG-NORMAL	LOG-PEARSON III
Parameter	$Cs \approx 0$	$Cs \approx 1,1396$	$Cs \approx 1,137$	$Cs \neq 0$
	$Ck \approx 3$	$Ck \approx 5,4002$	$Ck \approx 3Cv$	$Cv \approx 0,3$

(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

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 :

$$P(X_m) = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots(3.18)$$

Dimana :

- P(X<sub>m</sub>) = 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<sub>m</sub>), sedangkan garis lurus merupakan fungsi jenis sebaran dengan periode ulang tertentu, yaitu:

$$\text{Log}X_t = \text{Log}X_{rt} + k \cdot \sigma_x \dots\dots\dots(3.19)$$

Dimana :

- X<sub>t</sub> = Curah hujan
- k = Koefisien tiap distribusi
- σ<sub>x</sub> = Standar deviasi

**2. Uji Kecocokan Chi-Square**

Uji kecocokan *Chi-Square* dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan sebaran peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut atau dengan membandingkan nilai *Chi-Square* (χ<sup>2</sup>) dengan nilai *Chi-Square* kritis (χ<sup>2</sup> cr). Uji kecocokan *Chi-Square* menggunakan rumus (*Soewarno, 1995*):

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(3.20)$$

Dimana :

- $\chi_h^2$  = harga Chi-Square terhitung  
 $O_i$  = jumlah data yang teramati terdapat pada sub kelompok ke-i  
 $E_i$  = jumlah data yang secara teoritis terdapat pada sub kelompok ke-i  
 $G$  = jumlah sub kelompok

Parameter  $\chi_h^2$  merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai  $\chi_h^2$  sama atau lebih besar dari pada nilai *Chi-Square* yang sebenarnya ( $\chi^2$ ). Suatu distrisbusi dikatakan selaras jika nilai  $\chi^2$  hitung  $<$   $\chi^2$  kritis. Nilai  $\chi^2$  kritis dapat dilihat di Tabel 3.9. Dari hasil pengamatan yang didapat dicari penyimpangannya dengan *Chi-Square* kritis paling kecil. Untuk suatu nilai nyata tertentu (*level of significant*) yang sering diambil adalah 5 %.

Prosedur uji kecocokan *Chi-Square* adalah :

- Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya).
- Kelompokkan data menjadi  $G$  *sub-group*, tiap-tiap *sub-group* minimal terdapat lima buah data pengamatan.
- Hitung jumlah pengamatan yang teramati di dalam tiap-tiap *sub-group* ( $O_i$ ).
- Hitung jumlah atau banyaknya data yang secara teoritis ada di tiap-tiap *sub-group* ( $E_i$ ).
- Tiap-tiap *sub-group* hitung nilai :

$$(O_i - E_i) \text{ dan } \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

- Jumlah seluruh  $G$  *sub-group* nilai  $\sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$  untuk menentukan nilai *Chi-Square* hitung.
- Tentukan derajat kebebasan  $dk = G - R - 1$  (nilai  $R=2$ , untuk distribusi normal dan binomial, dan nilai  $R=1$ , untuk distribusi *Poisson*) (Soewarno, 1995).

Derajat kebebasan yang digunakan pada perhitungan ini adalah dengan rumus sebagai berikut :

$$Dk = n - 3 \dots\dots\dots(3.21)$$

Dimana :

Dk = derajat kebebasan

n = banyaknya data

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.

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

**Tabel 3.7.** Nilai  $\chi^2$  kritis untuk uji kecocokan Chi-Square

dk	$\alpha$ Derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,00003	0,0001	0,0009	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,071	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

dk	α Derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
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	31,41	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	41,683	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	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 : Soewarno, 1995)

**3. Uji Kecocokan Smirnov-Kolmogorof**

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorof dilakukan dengan membandingkan probabilitas untuk tiap-tiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat perbedaan (Δ). Perbedaan maksimum yang dihitung (Δ maks) dibandingkan dengan perbedaan kritis (Δcr) untuk suatu derajat nyata dan banyaknya variat tertentu, maka sebaran sesuai jika (Δmaks) < (Δcr).

Rumus yang dipakai :

$$\alpha = \frac{P_{\max} - P_{(xi)}}{P_{(x)} \Delta_{Cr}} \dots\dots\dots(3.22)$$

(Soewarno, 1995)

Prosedur uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorof* adalah :

1. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya nilai masing-masing data tersebut :  
 $X_1 \rightarrow P(X_1)$

- $X_2 \rightarrow P(X_2)$   
 $X_m \rightarrow P(X_m)$   
 $X_n \rightarrow P(X_n)$
2. Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya) :
 

$X_1 \rightarrow P'(X_1)$   
 $X_2 \rightarrow P'(X_2)$   
 $X_m \rightarrow P'(X_m)$   
 $X_n \rightarrow P'(X_n)$
  3. Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.  
 $D = \text{maksimum} [ P(X_m) - P'(X_m) ]$
  4. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov – Kolmogorof test*), tentukan harga  $D_0$  pada Tabel 3.8.

**Tabel 3.8.** 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
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

( Sumber : Soewarno,1995)

**B.4. Perhitungan 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:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left[ \frac{24}{t} \right]^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(3.23)$$

Dimana :

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- t = lamanya curah hujan (jam)
- R<sub>24</sub> = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

**C. Analisis Debit Banjir Rencana**

Debit banjir rencana adalah besarnya debit yang direncanakan melewati penampang sungai dengan periode ulang tertentu. Besarnya debit banjir ditentukan berdasarkan curah hujan dan aliran sungai antara lain : besarnya hujan, intensitas hujan, dan luas Daerah Pengaliran Sungai (DAS).

Metode ini paling banyak dikembangkan sehingga didapat beberapa rumus diantaranya sebagai berikut :

**C.1. Metode Rasional Jepang**

Perhitungan metode rasional jepang menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = \alpha \frac{I * A}{3,6} \dots\dots\dots(3.24)$$

*(R.J. Kodoatie dan Sugiyanto, 2002)*

- intensitas curah hujan (I)

$$I = \frac{R_{24}}{24} * \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(3.25)$$

- waktu konsentrasi (t)

$$t = \frac{L}{72 * (i)^{0,6}} \dots\dots\dots(3.26)$$

$$t = 0,0133L * i^{-0,6} \dots\dots\dots(3.27)$$

dimana :

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

α = koefisien *run off*.

I = intensitas curah hujan selama durasi t (mm/jam).

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

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

i = gradien sungai atau kemiringan rata-rata sungai (10% bagian hulu dari panjang sungai tidak dihitung. Beda tinggi dan panjang diambil dari suatu titik 0,1 L dari batas hulu DAS).

t = waktu konsentrasi (jam).

L = jarak dari ujung daerah hulu sampai titik yang ditinjau (km).

Koefisien *run off* tergantung dari beberapa faktor antara lain jenis tanah, kemiringan, luas dan bentuk pengaliran sungai. Sedangkan besarnya nilai koefisien pengaliran dapat dilihat pada Tabel 3.9 :

**Tabel 3.9 Koefisien Pengaliran**

Kondisi Daerah Pengaliran	Koefisien <i>Runoff</i>
Bergunung dan curam	0,75 – 0,90
Pegunungan tersier	0,70 – 0,80
Sungai dengan tanah dan hutan dibagian atas dan bawahnya	0,50 – 0,75
Tanah datar yang ditanami	0,45 – 0,60
Sawah waktu diairi	0,70 – 0,80
Sungai didaerah pegunungan	0,75 – 0,85

Kondisi Daerah Pengaliran	Koefisien <i>Runoff</i>
Sungai kecil didataran	0,45 – 0,75
Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran lebih dari seperduanya terdiri dari dataran	0,50 – 0,75

(Joelson Loebis, 1987)

**C.2. Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Gama I**

Menurut Sri Harto,1993 Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Gama I biasa digunakan untuk mengukur debit banjir dengan parameter yang sesuai dengan keadaan di Indonesia. Parameter-parameter yang digunakan yaitu sebagai berikut :

- Faktor sumber (SF), yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai-sungai semua tingkat.
- Frekuensi sumber (SN), yaitu perbandingan antara jumlah pangsa sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai-sungai semua tingkat.
- Faktor lebar (WF), yaitu perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0,75L dengan lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0,25L dari stasiun hidrometri.
- Luas DAS sebelah hulu (RUA), 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, melewati titik tersebut.
- Faktor simetri (SIM), yaitu hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu.
- Jumlah pertemuan sungai (JN), yaitu jumlah pertemuan sungai di dalam DAS tersebut
- Kerapatan jaringan kuras (D), yaitu jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.

Hidrograf satuan diberikan dengan empat variabel pokok, yaitu waktu naik(TR), debit puncak(QP), waktu dasar(TB) dan koefisien tampungan(K). Persamaan-persamaan yang dipakai yaitu:

$$Q_t = QP \times e^{-t/k} \quad (m^3/dtk) \dots\dots\dots (3.28)$$

$$TR = 0,43(L/100SF)^3 + 1,0665SIM + 1,2775 \text{ (jam)} \dots\dots(3.29)$$

$$QP = 0,1836A^{0,5886}TR^{-0,4008}JN^{0,2381} \text{ (m}^3\text{/dtk)} \dots\dots\dots(3.30)$$

$$TB = 27,4132TR^{0,1457}S^{-0,0986}SN^{0,7344}RUA^{0,2574} \text{ (jam)} \dots\dots(3.31)$$

$$K = 0,5617A^{0,1798}S^{-0,1446}SF^{-1,0897}D^{0,0452} \dots\dots\dots(3.32)$$

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

- Penetapan hujan-mangkus untuk memperoleh hidrograf dilakukan dengan menggunakan indeks-infiltrasi. Perkiraan dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh parameter DAS yang secara hidrologik dapat diketahui pengaruhnya terhadap indeks-infiltrasi. Persamaan pendekatannya sebagai berikut :

$$\Phi = 10,4903 - 3,859.10^{-6}A^2 + 1,6985.10^{-13}(A/SN)^4 \dots\dots(3.33)$$

- Untuk memperkirakan aliran dasar dipergunakan persamaan pendekatan berikut ini :

$$QB = 0,4751A^{-0,1491}D^{0,9430} \text{ (m}^3\text{/dtk)} \dots\dots\dots(3.34)$$

- Dalam menetapkan hujan rata-rata DAS, perlu mengikuti cara-cara yang ada. Tetapi bila dalam praktek analisis tersebut sulit, maka disarankan menggunakan cara yang disebutkan dengan mengalikan hujan titik dengan faktor reduksi hujan, sebesar :

$$B = 1,5518A^{-0,1491}N^{-0,2725}SIM^{-0,0259}S^{-0,0733} \dots\dots\dots(3.35)$$

Berdasarkan persamaan di atas maka dapat dihitung besar debit banjir setiap jam dengan persamaan :

$$Qp = (Qt * Re) + QB \text{ (m}^3\text{/dtk)} \dots\dots\dots(3.46)$$

Dimana :

Qp = debit banjir setiap jam (m<sup>3</sup>/dtk)

Qt = debit satuan tiap jam (m<sup>3</sup>/dtk)

Re = curah hujan efektif (mm/jam)

QB= aliran dasar (m<sup>3</sup>/dtk)

**C.3. Metode Haspers**

Untuk menghitung besarnya debit dengan metode Haspers digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \alpha * \beta * q * F \dots\dots\dots(3.47)$$

(Joelson Loebis, 1987)

- Koefisien *Runoff* ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{1 + 0.012 * F^{0.7}}{1 + 0.75 * F^{0.7}} \dots\dots\dots(3.48)$$

- Waktu Konsentrasi (t)

$$t = 0,1 L^{0.8} * i^{-0.3} \dots\dots\dots(3.49)$$

- Koefisien Reduksi ( $\beta$ )

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,7.10^{-0.4t}}{t^2 + 15} * \frac{F^{3/4}}{12} \dots\dots\dots(3.50)$$

- Intensitas Hujan

a. Untuk  $t < 2$  jam

$$Rt = \frac{t * R_{24}}{t + 1 - 0,0008.(260 - R_{24}) * (2 - t)^2} \dots\dots\dots(3.51)$$

b. Untuk  $2 \text{ jam} \leq t < 19 \text{ jam}$

$$Rt = \frac{t * R_{24}}{t + 1} \dots\dots\dots(3.52)$$

c. Untuk  $19 \text{ jam} \leq t \leq 30 \text{ jam}$

$$Rt = 0,707R_{24} * \sqrt{t + 1} \dots\dots\dots(3.53)$$

- Hujan Maksimum (q)

$$q = \frac{Rt}{3.6 * t} \dots\dots\dots(3.54)$$

dimana :

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

$\alpha$  = koefisien *runoff*.

- $\beta$  = koefisien reduksi daerah untuk curah hujan DAS.  
q = hujan maksimum ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{det}$ ).  
t = waktu konsentrasi (jam).  
F = luas daerah pengaliran ( $\text{km}^2$ ).  
Rt = intensitas curah hujan selama durasi t (mm/hari).  
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 0,1 L dari batas hulu DAS).

### 3.3. Hidrolika

Analisis hidrolika dimaksud untuk mengetahui kapasitas alur sungai pada kondisi sekarang terhadap banjir rencana dari studi terdahulu dan hasil pengamatan yang diperoleh. Analisis hidrolika dilakukan pada seluruh saluran untuk mendapatkan dimensi saluran yang diinginkan, yaitu ketinggian muka air sepanjang alur sungai yang ditinjau.

#### A. Analisis Penampang Eksisting Sungai

Analisis penampang eksisting sungai dengan menggunakan program HEC-RAS. Komponen sistem modeling ini dimaksudkan untuk menghitung profil permukaan air untuk arus bervariasi secara berangsur-angsur tetap (*steady gradually varied flow*). Sistem mampu menangani suatu jaringan saluran penuh, suatu sistem *dendritic*, atau sungai tunggal. Komponen ini mampu untuk memperagakan *subcritical*, *supercritical*, dan campuran kedua jenis profil permukaan air.

Dasar perhitungan yang digunakan adalah persamaan energi satu dimensi. Persamaan momentum digunakan dalam situasi dimana / jika permukaan air profil dengan cepat bervariasi. Situasi ini meliputi perhitungan jenis arus campuran yaitu lompatan hidrolis dan mengevaluasi profil pada pertemuan sungai (simpangan arus).

Fitur khusus yang dimiliki komponen aliran tetap meliputi: berbagai analisa rencana (*multiple plan analysis*); berbagai perhitungan profil (*multiple profile computations*). HEC-RAS mampu untuk melakukan perhitungan *one-*

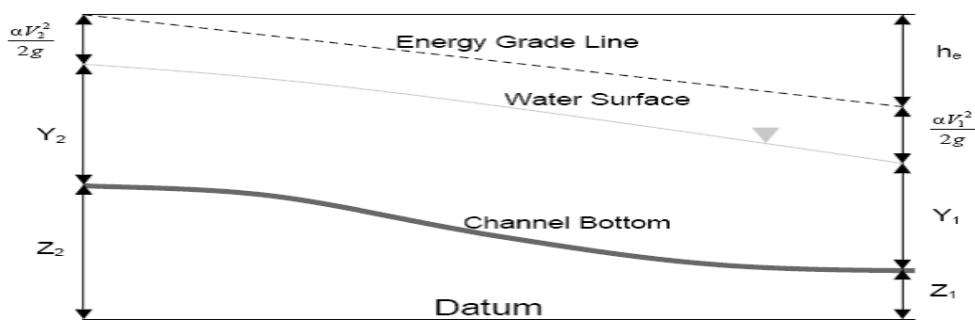
dimensional profil air permukaan untuk arus tetap bervariasi secara berangsur-angsur (*gradually varied flow*) di dalam saluran alami atau buatan. Berbagai jenis profil air permukaan seperti subkritis, superkritis, dan aliran campuran juga dapat dihitung. Topik dibahas di dalam bagian ini meliputi: persamaan untuk perhitungan profil dasar; pembagian potongan melintang untuk perhitungan saluran pengantar; Angka *manning* (n) komposit untuk saluran utama; pertimbangan koefisien kecepatan ( $\alpha$ ); evaluasi kerugian gesekan; evaluasi kerugian kontraksi dan ekspansi; prosedur perhitungan; penentuan kedalaman kritis; aplikasi menyangkut persamaan momentum; dan pembatasan menyangkut aliran model tetap.

Profil permukaan air dihitung dari satu potongan melintang kepada yang berikutnya dengan pemecahan persamaan energi dengan suatu interaktif prosedur disebut metode langkah *standard*. Persamaan energi di tulis sebagai berikut:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots(3.55)$$

dimana:

- $Y_1, Y_2$  = elevasi air di penampang melintang (m)
- $Z_1, Z_2$  = elevasi penampang utama (m)
- $V_1, V_2$  = kecepatan rata-rata (total pelepasan /total area aliran) (m/dtk)
- $\alpha_1, \alpha_2$  = besar koefisien kecepatan
- $g$  = percepatan gravitasi (m/dtk<sup>2</sup>)
- $h_e$  = tinggi energi (m).



Gambar 3.2. Gambaran dari persamaan energy

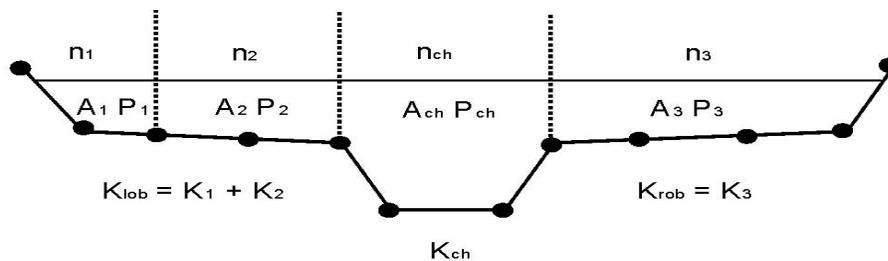
$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (3.56)$$

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \dots\dots\dots (3.57)$$

$$Q = K S_f^{1/2} \dots\dots\dots (3.58)$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \dots\dots\dots (3.59)$$

$$n_c = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1.5})}{P} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (3.60)$$



**Gambar 3.3.** Metode HEC-RAS tentang kekasaran dasar saluran

dimana:

- L = panjangnya antar dua penampang melintang
- $\bar{S}_f$  = kemiringan energi antar dua penampang melintang
- C = koefisien kontraksi atau ekspansi
- $L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}$  = panjang jangkauan antar dua potongan melintang yang berturut-turut untuk arus di dalam tepi kiri, saluran utama, dan tepi kanan
- $Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob}$  = perhitungan rata-rata debit yang berturut-turut untuk arus antara bagian tepi kiri, saluran utama, dan tepi kanan
- K = kekasaran dasar untuk tiap bagian
- n = koefisien kekasaran *manning* untuk tiap bagian
- A = area arus untuk tiap bagian
- R = radius hidrolis untuk tiap bagian (area: garis keliling basah)

- Nc = koefisien padanan atau gabungan kekasaran
- P = garis keliling basah keseluruhan saluran utama
- Pi = garis keliling basah bagian i
- ni = koefisien kekasaran untuk bagian i

**B. Perencanaan Penampang Sungai Rencana**

Faktor yang harus diperhatikan dalam mendesain bentuk penampang melintang normalisasi sungai adalah perbandingan antara debit dominan dan debit banjir. Untuk menambah kapasitas pengaliran pada waktu banjir, dibuat penampang ganda, dengan menambah luas penampang basah dari pemanfaatan bantaran sungai.

Bentuk penampang sungai sangat dipengaruhi oleh faktor bentuk penampang berdasarkan kapasitas pengaliran, yaitu:

$$Q_{Banjir} = A * V \dots\dots\dots(3.61)$$

$$V = \frac{1}{n} * I^{1/2} * R^{2/3} \dots\dots\dots(3.62)$$

$$Q_{Banjir} = \frac{1}{n} * I^{1/2} * R^{2/3} * A \dots\dots\dots(3.63)$$

$R^{2/3} * A \rightarrow$  merupakan faktor bentuk

Berdasarkan rumus diatas diketahui bahwa kapasitas penampang dipengaruhi oleh kekasaran penampang. Hal ini dapat dilihat dari koefisien bentuk kekasaran penampang yang telah ditetapkan oleh manning seperti terlihat pada Tabel Daftar nilai koefisien kekasaran Manning seperti pada Tabel 3.10

**Tabel 3.10. Koefisien kekasaran sungai alam**

Kondisi Sungai	N
Trase dan profil teratur, air dalam	0,025 – 0,033
Trase dan profil teratur, bertanggul kerikil dan berumput	0,030 – 0,040
Berbelok–belok dengan tempat–tempat dangkal	0,033 – 0,045
Berbelok–belok, air tidak dalam	0,040 – 0,055
Berumput banyak di bawah air	0,050 – 0,080

( *Suyono Sosrodarsono, 1984*)

Adapun rumus – rumus yang digunakan dalam pendimensionian saluran – saluran tersebut adalah sebagai berikut :

a. Perencanaan Dimensi Penampang Tunggal Trapesium.

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3.64)$$

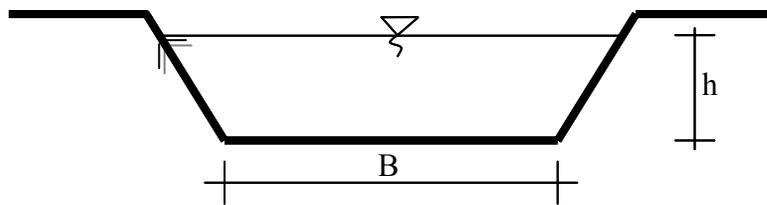
$$R = \frac{A}{P}$$

$$P = B + 2H\sqrt{(1 + m^2)}$$

$$A = H \times (B + mH)$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

- Dimana :  $Q$  = Debit aliran ( $m^3/s$ )  
 $A$  = Luas Penampang Basah ( $m^2$ )  
 $V$  = Kecepatan aliran ( $m/s$ )  
 $n$  = Koefisien kekasaran manning  
 $R$  = Keliling basah ( $m$ )  
 $P$  = Keliling basah sungai ( $m$ )  
 $I$  = Kemiringan hidraulik sungai  
 $m$  = Kemiringan talud



Gambar 3.4. Saluran Penampang Tunggal

b. Perencanaan Dimensi Penampang Ganda Trapesium.

Untuk mendapatkan penampang yang stabil, penampang bawah pada penampang ganda harus didesain dengan debit dominan.

$$B_2 = 15H_1 \Rightarrow \text{direncanakan berdasarkan debit dominan}$$

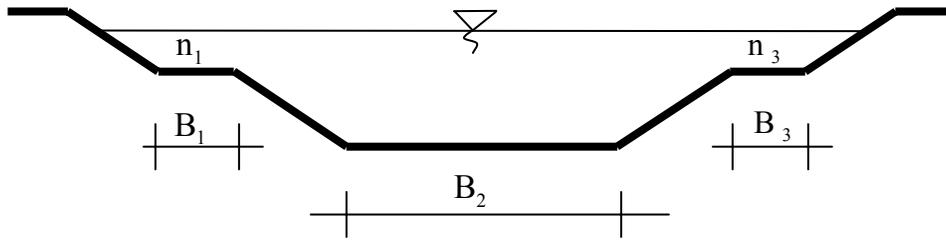
$$B_1 = B_3$$

$$n_1 = n_3$$

$$\begin{aligned}
 A_1 &= A_3 = \frac{1}{2} H_2 \times (B_1 + mH_2) \\
 P &= P_1 = B_1 + H_2 \times \sqrt{(1 + m^2)} \\
 R_1 &= R_3 = \frac{A_1}{P_1} \\
 V_1 &= V_3 = \frac{1}{n_1} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \\
 Q_1 &= Q_3 = A_1 \times V_1 \\
 A_2 &= \frac{1}{2} H_1 \times (B_2 + mH_1) + H_2 \times (B_2 + mH_2) \\
 P_2 &= B_2 + 2H_1 \times \sqrt{(1 + m^2)} \\
 R_2 &= \frac{A_2}{P_2} \\
 V_2 &= \frac{1}{n_2} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \\
 Q_2 &= A_2 \times V_2 \dots\dots\dots(3.65) \\
 Q_{\text{total}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3
 \end{aligned}$$

Dimana :

- Q = Debit Aliran ( m<sup>3</sup>/s)
- A = Luas Penampang Basah ( m<sup>2</sup> )
- V = Kecepatan Aliran ( m/s )
- n = Koefisien kekasaran manning
- R = Keliling basah ( m )
- P = Keliling basah sungai ( m )
- I = Kemiringan hidraulik sungai
- m = Kemiringan Talud



Gambar 3.5 Saluran Penampang Ganda

Untuk merencanakan dimensi penampang diperlukan tinggi jagaan. Hal – hal yang mempengaruhi besarnya nilai tinggi jagaan adalah penimbunan sedimen di dalam saluran, berkurangnya efisiensi hidraulik karena tumbuhnya tanaman, penurunan tebing, dan kelebihan jumlah aliran selama terjadinya hujan. Besarnya tinggi jagaan dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11. Hubungan Debit – Tinggi jagaan

Debit Rencana (m <sup>3</sup> /det)	Tinggi Jagaan (m)
200 < Q < 500	0,75
500 < Q < 2000	1,00
5000 < Q < 10000	1,50
10000 < Q	2,00

### 3.4. Stabilitas Alur

Bila air mengalir dalam sebuah saluran, maka pada dasar saluran akan timbul suatu gaya bekerja searah dengan arah aliran. Gaya ini yang merupakan gaya tarik pada penampang basah disebut gaya seret (*tractive force*).

Butiran pembentuk alur sungai harus stabil terhadap aliran yang terjadi. Karena pengaruh kecepatan, aliran dapat mengakibatkan gerusan pada talud dan dasar sungai. Aliran air sungai akan memberikan gaya seret ( $\tau_0$ ) pada penampang sungai yang besarnya adalah:

$$\tau = \rho_w \times g \times h \times I \dots \dots \dots (3.66)$$

dimana:

$\rho_w$  = rapat massa air ( $\text{kg/m}^3$ )

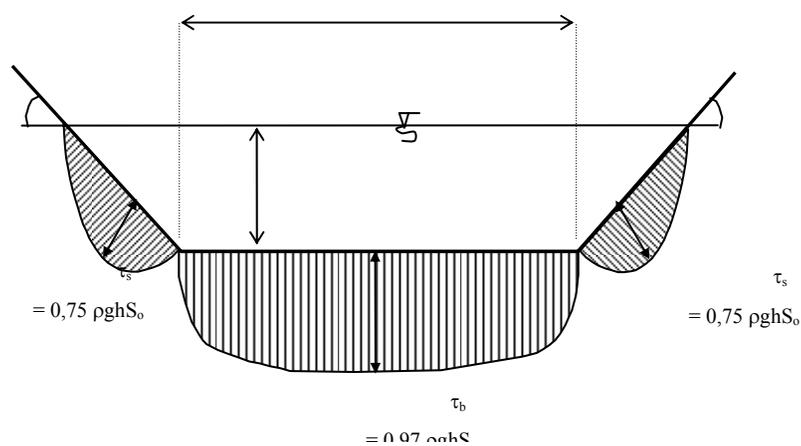
$g$  = gaya gravitasi ( $\text{m/dt}^2$ )

$h$  = tinggi air (m)

$I$  = kemiringan alur dasar sungai

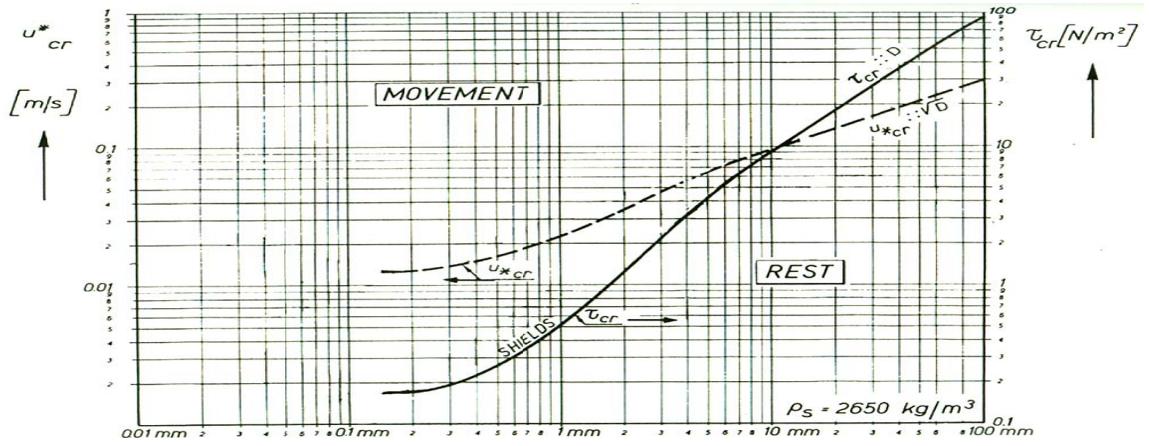
Kecepatan aliran sungai juga mempengaruhi terjadinya erosi sungai. Kecepatan aliran yang menimbulkan terjadinya tegangan seret kritis disebut kecepatan kritis ( $V_{Cr}$ ). U.S.B.R. memberikan distribusi gaya seret pada saluran empat persegi panjang berdasarkan analogi *membrane* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6.

Erosi dasar sungai terjadi jika  $\tau_0$  lebih besar dari gaya seret kritis ( $\tau_{cr}$ ) pada dasar dan tebing sungai. Gaya seret kritis adalah gaya seret yang terjadi tepat pada saat butiran akan bergerak. Besarnya gaya seret kritis didapatkan dengan menggunakan Grafik *Shield* (dapat dilihat pada Gambar 3.7) dengan menggunakan data ukuran butiran tanah dasar sungai.



**Gambar 3.2.** Gaya Seret Satuan Maksimum

(Robert J. Kodoatie dan Sugiyanto, 2002)



Gambar 3.3. Grafik Shield

(Ven Te Chow, 1985)

**A. Gaya Seret Pada Dasar Sungai**

Besarnya gaya seret yang terjadi pada dasar sungai adalah:

$$\tau_b = 0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b \dots\dots\dots(3.67)$$

dimana:

- $\tau_b$  = gaya seret pada dasar sungai ( $\text{kg/m}^2$ )
- $\rho_w$  = rapat massa air ( $\text{kg/m}^3$ )
- $g$  = gaya gravitasi ( $\text{m/dt}^2$ )
- $h$  = tinggi air (m)
- $I_b$  = kemiringan alur dasar sungai

Kecepatan aliran kritis di dasar sungai terjadi pada saat  $\tau_b = \tau_{cr.b}$ . Maka:

$$0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b = \tau_{cr,b} \dots\dots\dots(3.68)$$

$$I_b = \frac{\tau_{cr,b}}{0,97 \times \rho_w \times g \times h} \dots\dots\dots(3.69)$$

$$V_{cr,b} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I_b^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3.70)$$

dimana:

- $\tau_{cr.b}$  = gaya seret kritis pada dasar sungai ( $\text{kg/m}^2$ )
- $\rho_w$  = rapat massa air ( $\text{kg/m}^3$ )
- $g$  = gaya gravitasi ( $\text{m/dt}^2$ )
- $h$  = tinggi air (m)

- Ib = kemiringan alur dasar sungai
- V<sub>cr.b</sub> = kecepatan kritis dasar sungai (m/dt)
- R = jari-jari hidrolis (m)
- n = angka kekasaran *manning*

**B. Gaya Seret Pada Tebing Sungai**

Besarnya gaya seret yang terjadi pada tebing sungai adalah:

$$\tau_s = 0,75 \times \rho_w \times g \times h \times I_s \dots\dots\dots(3.71)$$

dimana:

- $\tau_s$  = gaya seret pada tebing sungai (kg/m<sup>2</sup>)
- $\rho_w$  = rapat massa air (kg/m<sup>3</sup>)
- g = gaya gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)
- h = tinggi air (m)
- I<sub>s</sub> = kemiringan tebing sungai

Erosi dasar sungai juga dapat terjadi jika  $\tau_s$  lebih besar dari gaya seret kritis pada lereng sungai ( $\tau_{cr.s}$ ). Tegangan geser kritis pada lereng sungai tergantung pada besarnya sudut lereng.

$$\tau_{cr,s} = K_\beta \cdot \tau_{cr} \dots\dots\dots(3.72)$$

$$K_\beta = \cos \beta \sqrt{1 - \left(\frac{tg \beta}{tg \phi}\right)^2} \dots\dots\dots(3.73)$$

dimana:

- $\tau_{cr}$  = tegangan geser kritis
- $\beta$  = sudut lereng sungai
- $\phi$  = (tergantung diameter butiran dari grafik pada Gambar 3.7)

Kecepatan aliran kritis di dasar sungai terjadi pada saat  $\tau_s = \tau_{cr.s}$  maka:

$$0,75 \times \rho_w \times g \times h \times I_s = \tau_{cr,s} \dots\dots\dots(3.74)$$

$$I_s = \frac{\tau_{cr,s}}{0,75 \times \rho_w \times g \times h} \dots\dots\dots(3.75)$$

$$V_{cr.s} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I_s^{\frac{1}{2}}$$

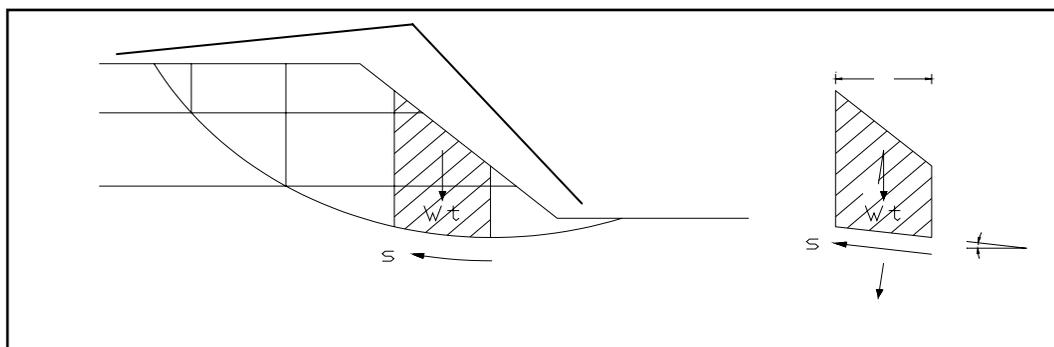
dimana:

- $\tau_{cr.s}$  = gaya seret kritis tebing sungai ( $kg/m^2$ )
- $\rho_w$  = rapat massa air ( $kg/m^3$ )
- $g$  = gaya gravitasi ( $m/dt^2$ )
- $h$  = tinggi air (m)
- $I_s$  = kemiringan alur dasar sungai
- $V_{cr.s}$  = kecepatan kritis (m/dt)
- $R$  = jari-jari hidrolis (m)
- $n$  = angka kekasaran *manning*

### 3.5. Stabilitas Lereng

Pada perhitungan stabilitas lereng disini lebih ditekankan apakah terjadi longsor baik di lereng bawah maupun di tanggulnya itu sendiri. Untuk menghasilkan model penampang tanah sebagai *input*, maka data pengeboran harus diolah terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai kohesi ( $c$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ), berat volume ( $\gamma$ ) serta ketebalan masing-masing lapisan tanah tersebut.

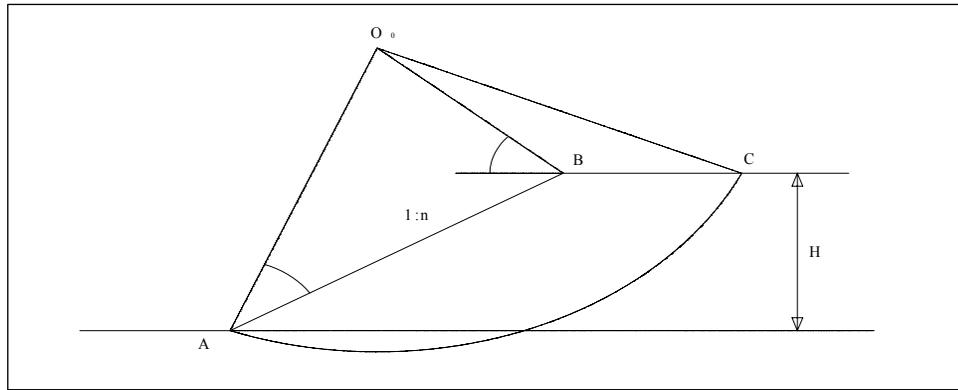
Secara skematis gaya – gaya yang bekerja pada bidang longsor yang terbagi dalam beberapa segmen dapat dilihat pada Gambar 3.8. dan 3.9.



Gambar 3.4. Gaya yang bekerja pada bidang longsor

Dimana :

- $W_t$  = Berat Segmen
- $S$  = Gaya tangensial yang bekerja pada bidang longsor
- $L$  = Lebar Bidang Longsor per Segmen



**Gambar 3.5.** Lokasi Pusat Busur Longsor Kritis Pada Tanah Kohesif

Faktor keamanan (Fk) adalah perbandingan antara kekuatan geser yang ada dengan kekuatan geser yang diperlukan untuk mempertahankan kemantapan. Maka :

$$Fk = \frac{\sum (c' \beta \cos \alpha + (N - v \beta) \tan \phi \cos \alpha)}{\sum N \sin \alpha - \sum D \cos \omega} \dots\dots\dots(3.76)$$

Dimana :

- N = Gaya Normal
- $\beta, v, \omega$  = Parameter Geometrik
- D = Beban Garis
- $c'$  = Kohesi efektif
- $\phi$  = Sudut Geser Tanah