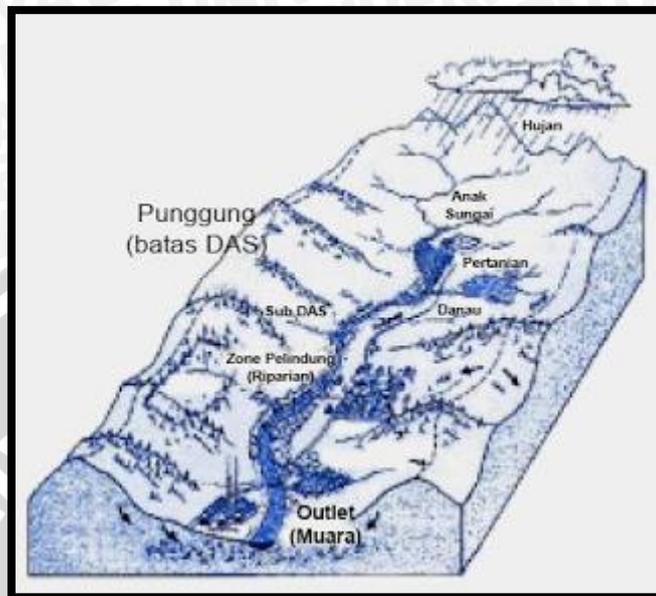


## BAB II LANDASAN TEORI



**Gambar 2.1 Skema Daerah Aliran Sungai**

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

### 2.1. Daerah Aliran Sungai

#### 2.1.1. Pengertian Daerah Aliran Sungai

Daerah yang dibatasi punggung – punggung gunung dimana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut akan ditampung oleh punggung gunung tersebut dan dialirkan melalui sungai – sungai kecil ke sungai utama (Asdak 1995)

Daerah Aliran Sungai (DAS) / Daerah Pengaliran Sungai (DPS) atau drainage basin adalah suatu daerah yang terhampar di sisi kiri dan kanan dari suatu aliran sungai, dimana semua anak sungai yang terdapat di sebelah kanan dan kiri sungai bermuara ke dalam suatu sungai induk. Seluruh hujan yang terjadi didalam suatu drainage basin, semua airnya akan mengisi sungai yang terdapat di dalam DAS tersebut. oleh sebab itu, areal DAS juga merupakan daerah tangkapan hujan atau disebut catchment area. Semua air yang mengalir melalui sungai bergerak meninggalkan daerah daerah tangkapan sungai (DAS) dengan atau tanpa memperhitungkan jalan yang ditempuh sebelum mencapai limpasan (run off). (Mulyo, 2004).

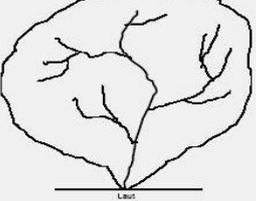
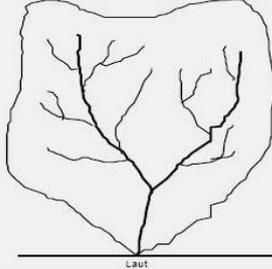
Daerah Aliran Sungai (DAS) juga dapat didefinisikan sebagai suatu daerah yang dibatasi oleh topografi alami, dimana semua air hujan yang jatuh didalamnya akan

mengalir melalui suatu sungai dan keluar melalui outlet pada sungai tersebut, atau merupakan satuan hidrologi yang menggambarkan dan menggunakan satuan fisik – biologi dan satuan kegiatan sosial ekonomi untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya alam. (Suripin, 2001).

Menurut I Made Sandy (1985), seorang Guru Besar Geografi Universitas Indonesia; Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah bagian dari muka bumi, yang airnya mengalir ke dalam sungai yang bersangkutan, apabila hujan jatuh. Sebuah pulau selamanya terbagi habis ke dalam Daerah – Daerah Aliran Sungai. Antara DAS yang satu dengan DAS yang lainnya dibatasi oleh titik – titik tertinggi muka bumi berbentuk punggung yang disebut stream divide atau batas daerah aliran (garis pemisah DAS). (Hallaf H.P., 2006).

### 2.1.2. Karakteristik Daerah Aliran Sungai

Sifat – sifat sungai sangat dipengaruhi oleh luas dan bentuk daerah alirannya , bentuk daerah aliran sungai sangat berpengaruh terhadap kecepatan terpusatnya air. Secara umum bentuk daerah aliran sungai dibedakan menjadi 4 macam (Sosrodarsono, 1976:169)

Tipe	Karakteristik	Gambar
Bulu Burung	Jalur anak sungai di kiri-kanan sungai utama mengalir menuju sungai utama, debit banjir kecil karena waktu tiba banjir dari anak-anak sungai berbeda-beda. Banjir berlangsung agak lama.	
Radial	Bentuk DAS menyerupai kipas atau lingkaran, anak-anak sungai berkonsentrasi ke suatu titik secara radial, banjir besar terjadi di titik pertemuan anak-anak sungai.	
Paralel	Bentuk ini mempunyai corak dimana dua jalur aliran sungai yang sejajar bersatu di bagian hilir, banjir terjadi di titik pertemuan anak sungai	
Kompleks	Memiliki beberapa buah bentuk dari ketiga bentuk di atas.	

**Gambar 2.2 Karakteristik Daerah Aliran Sungai**

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

### 2.1.3. Alur Sungai

Sungai memiliki bentuk-bentuk yang berbeda antara bagian yang satu dengan bagian yang lain. Secara umum, sebuah sungai bisa dibagi menjadi tiga bagian. Bagian atas (hulu), tengah, dan bawah (hilir). Setiap bagian ini memiliki ciri khas, bentuk, dan aktivitasnya sendiri sendiri.

#### 1. Bagian Hulu

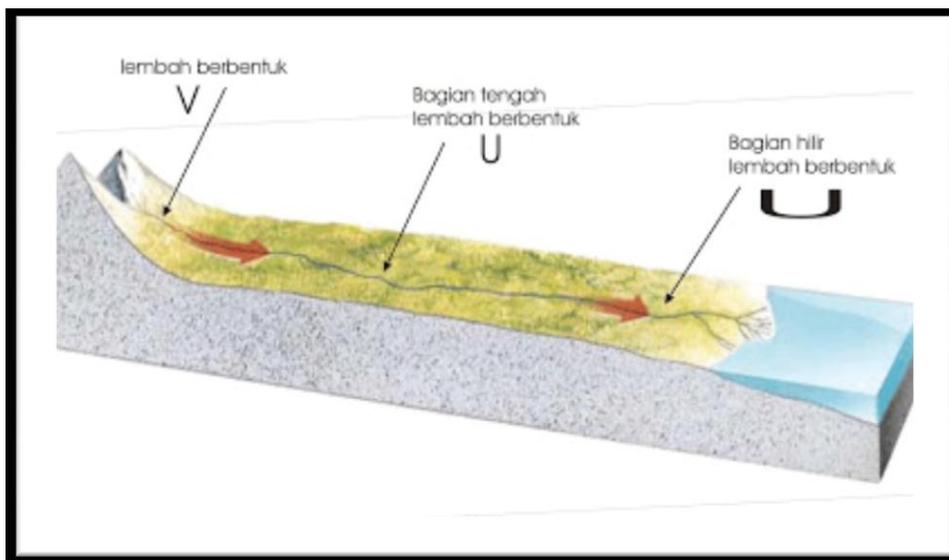
Bagian hulu merupakan bagian awal dari sebuah sungai. Biasanya bagian ini terletak di pegunungan. Pada bagian ini, lembah sungai memiliki bentuk menyerupai huruf V. Ciri cirinya adalah, sungai – sungai dibagian hulu memiliki aliran yang sangat deras dan sungai sungainya lumayan dalam. Hal ini di karenakan karena letaknya yang di daerah pegunungan yang memiliki kemiringan cukup curam. Sehingga air akan sangat cepat untuk mengalir ke bawah. Proses yang terjadi disini adalah proses erosi. Proses erosi sendiri diakibatkan oleh aliran yang sangat deras tadi. Karena aliran ini juga lah, air akan menggerus sungai dengan sangat cepat, sehingga lembah sungai ini membentuk huruf V.

#### 2. Bagian Tengah

Bagian tengah adalah lanjutan dari bagian hulu tadi. Bagian tengah biasanya memiliki cirri lembah sungai membentuk huruf U. Hal ini dikarenakan kondisi lokasinya yang tidak curam lagi, melainkan landai. Hal ini mengakibatkan aliran air tidak begitu deras. Karena air tidak terlalu deras, maka proses erosi disini sudah tidak begitu dominan. Masih ada proses erosi, tetapi itu kecil sekali. Proses yang dominan terjadi di daerah ini adalah transportasi. Maksudnya adalah, hasil dari erosi yang terjadi di bagian hulu tadi, dibawa oleh air menuju ke daerah bawahnya, kearah hilir.

#### 3. Bagian Hilir

Bagian hilir adalah bagian sungai terakhir, yang akhirnya bagian ini akan mengantar sungai itu ke laut (muara). Ciri – ciri bagian ini adalah, lembah sungai disini tidak berbentuk V atau U lagi, tetapi lebih menyerupai huruf U yang lebar. Sungai di daerah hilir ini biasanya sudah ber - meander (Berliku liku). Di daerah ini proses yang dominan adalah sedimentasi. Artikel partikel hasil erosi di bagian hulu, yang kemudian di transportasi di bagian tengah, akan di endapkan di bagian hilir ini. Jika sungai bermuara di laut yang permukaan bawah lautnya landai, dan arus / gelombangnya tidak besar, maka kemungkinan akan terbentuk delta.



**Gambar 2.3 Alur Sungai**

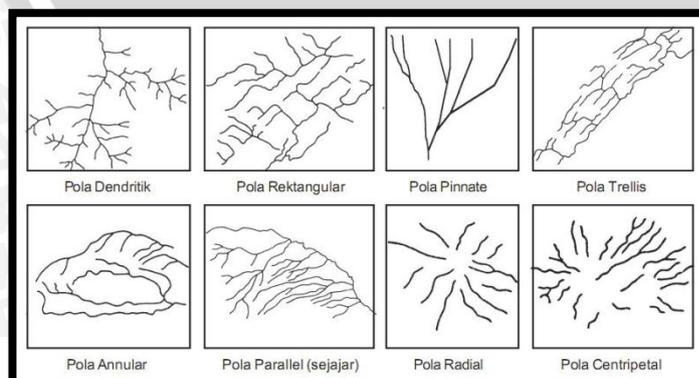
Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

#### 2.1.4. Pola Aliran Sungai

Sungai di dalam semua DAS mengikuti suatu aturan yaitu bahwa aliran sungai dihubungkan oleh suatu jaringan, suatu arah dimana cabang dan anak sungai mengalir ke dalam sungai induk yang lebih besar dan membentuk suatu pola tertentu. Pola itu tergantung dari pada kondisi tofografi, geologi, iklim, vegetasi yang terdapat di dalam DAS bersangkutan. Adapun Pola – pola Pengairan Sungai yaitu:

1. Pola trellis dimana memperlihatkan letak anak – anak sungai yang paralel atau topografi yang paralel. Anak – anak sungai bermuara pada sungai induk secara tegak lurus. Pola pengaliran trellis mencirikan daerah pegunungan lipatan (folded mountains). Induk sungai mengalir sejajar dengan *strike*, mengalir di atas struktur *synclinal* (lembah), sedangkan anak – anak sungainya mengalir sesuai deep dari sayap – sayap *synclinal* dan *anticlinal*-nya (punggung). Jadi, anak – anak sungai juga bermuara tegak lurus terhadap induk sungainya.
2. Pola Rektanguler, dicirikan oleh induk sungainya memiliki kelokan – kelokan  $\pm 90^\circ$ , arah anak – anak sungai (*tributary*) terhadap sungai induknya berpotongan tegak lurus. Biasanya ditemukan di daerah pegunungan patahan (*block mountains*). Pola seperti ini menunjukkan adanya pengaruh joint atau bidang-bidang dan / atau retakan patahan *escarp-escarp* (tebing) atau *graben-graben* (patahan kulit bumi yang relatif turun) yang saling berpotongan.

3. Pola Denritik, yaitu pola sungai dimana anak – anak sungainya (tributaries) cenderung sejajar dengan induk sungainya. Anak – anak sungainya bermuara pada induk sungai dengan sudut lancip. Model pola denritis seperti pohon dengan tatanan dahan dan ranting sebagai cabang – cabang dan anak – anak sungainya. Pola ini biasanya terdapat pada daerah berstruktur plain, atau pada daerah batuan yang sejenis (seragam, homogen) dengan penyebaran yang luas.
4. Pola Radial Sentripugal, Pola pengaliran beberapa sungai di mana daerah hulu sungai-sungai itu saling berdekatan seakan terpusat pada satu “titik” tetapi muaranya menyebar, masing – masing ke segala arah. Pola pengaliran radial terdapat di daerah gunung api atau topografi bentuk kubah seperti pegunungan dome yang berstadia muda, hulu sungai – sungai berada di bagian puncak, tetapi muaranya masing-masing menyebar ke arah yang lain, ke segala arah.
5. Pola Radial Sentripetal, Kebalikan dari pola radial yang menyebar dari satu pusat, pola sentripetal ini justru memusat dari banyak arah. Pola ini terdapat pada satu cekungan (basin), dan biasanya bermuara pada satu danau. Di daerah beriklim kering dimana air danau tidak mempunyai saluran pelepasan ke laut karena penguapan sangat tinggi, biasanya memiliki kadar garam yang tinggi sehingga terasa asin.
6. Pola Paralel, Adalah pola pengaliran yang sejajar. Pola pengaliran semacam ini menunjukkan lereng yang curam. Beberapa wilayah di pantai barat Sumatera memperlihatkan pola pengaliran paralel
7. Pola Annular, Pola pengaliran cenderung melingkar seperti gelang; tetapi bukan meander. Terdapat pada daerah berstruktur dome (kubah) yang topografinya telah berada pada stadium dewasa. Daerah dome yang semula (pada stadium remaja) tertutup oleh lapisan-lapisan batuan endapan yang berselang-seling antara lapisan batuan keras dengan lapisan batuan lembut.



**Gambar 2.4 Pola Aliran Sungai**

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

## 2.2. Analisa Curah Hujan

### 2.2.1. Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi data hujan diperlukan untuk mengetahui kesalahan data atau penyimpangan data. Data hujan yang tidak konsisten ini disebabkan :

- a. Perubahan mendadak pada sistem lingkungan hidrolis, misal karena adanya pembangunan gedung – gedung atau tumbuhnya pohon – pohon, karena gempa bumi, meletusnya gunung api, dan lain – lain.
- b. Pemindahan alat ukur.
- c. Perubahan cara pengukuran ( misalnya berhubungan dengan adanya alat baru atau metode baru )
- d. Perubahan iklim
- e. Perubahan letak stasiun

Pengujian sederhana yang dilakukan untuk mendeteksi penyimpangan ini, umumnya dilakukan dengan analisa kurva massa ganda ( double mass curve analysis ). Data curah hujan tahunan jangka waktu tertentu pada stasiun yang diuji harus dibandingkan dengan besaran komulatif rata – rata hujan dari beberapa stasiun referensi sekitarnya.

### 2.2.2. Uji Homogenitas Data

Data di luar ambang batas ( *outlier* ) adalah data yang menyimpang cukup jauh dari trend kelompoknya. Keberadaan *outlier* biasanya mengganggu pemilihan jenis distribusi suatu sampel data, sehingga *outlier* perlu dibuang. Uji Grubbs and beck menetapkan dua batas ambang bawah  $X_L$ , dan ambang atas  $X_H$  sebagai berikut ( Chow, 1988 : 403 ):

$$X_H = \bar{x} + K_n \cdot S$$

$$X_L = \bar{x} - K_n \cdot S$$

Dengan :

$X_H$  = nilai ambang atas

$X_L$  = nilai ambang bawah

$\bar{x}$  = nilai rata –rata

S = simpangan baku dari logaritma terhadap sampel dat

$K_n$  = besaran yang tergantung pada jumlah sampel data

n = jumlah sampel data

Data yang nilainya diluar  $X_H$  dan  $X_L$  diklasifikasikan sebagai *outlier*.

**Tabel 2.1 Harga Kn untuk pemeriksaan *Outlier***

Jumlah Data (n)	Kn								
10	2,036	22	2,429	34	2,616	46	2,736	90	2,981
11	2,088	23	2,448	35	2,628	47	2,744	95	3
12	2,134	24	2,467	36	2,39	48	2,753	100	3,017
13	2,175	25	2,486	37	2,65	49	2,760	110	3,049
14	2,213	26	2,502	38	2,661	50	2,768	120	3,078
15	2,247	27	2,519	39	2,671	55	2,804	130	3,104
16	2,279	28	2,534	40	2,682	60	2,837	140	3,129
17	2,309	29	2,549	41	2,692	65	2,866		
18	2,335	30	2,563	42	2,7	70	2,893		
19	2,361	31	2,577	43	2,71	75	2,917		
20	2,385	32	2,591	44	2,719	80	2,94		
21	2,408	33	2,604	45	2,727	85	2,961		

Sumber : Chow, 1988 : 404

### 2.2.3. Hujan Rerata Daerah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan daerah yang dinyatakan dalam milimeter (Sosrodarsono, 1987:27).

Terdapat tiga cara yang digunakan untuk menghitung curah hujan daerah (Sri Harto, 1987:13), yaitu :

1. Cara rata-rata hitung
2. Cara polygon *Thiessen*
3. Cara garis-garis *Isohyet*

Selain berdasarkan stasiun pengamatan, curah hujan daerah dapat dihitung dengan parameter luas daerah tinjauan sebagai berikut ( Sosrodarsono, 2003: 51 ):

1. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 ha dengan variasi topografi kecil diwakili oleh sebuah stasiun pengamatan
2. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 – 50.000 ha yang memiliki 2 atau 3 stasiun pengamatan dapat menggunakan metode rata – rata aljabar.

3. Untuk daerah tinjauan dengan luas 120.000 – 500.000 ha yang memiliki beberapa stasiun pengamatan tersebar cukup merata dan dimana curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi topografi dapat menggunakan metode rata – rata aljabar, tetapi jika stasiun pengamatan tersebar tidak merata dapat menggunakan metode Thiessen.
4. Untuk daerah tinjauan dengan luas lebih dari 500.000 ha menggunakan metode Isohiet atau metode potongan antara.

Dalam studi ini perhitungan curah hujan rerata daerah menggunakan metode rata – rata aljabar. Hal tersebut menjadi pertimbangan karena luas DAS Cihaur 45,64 km<sup>2</sup> atau 4564 ha termasuk dalam rentang luas antara 250 – 50.000 ha. Adapun cara perhitungannya menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\bar{R} = \frac{1}{n} ( R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n )$$

Dengan :

$\bar{R}$  = curah hujan rerata daerah ( mm/hari )

n = jumlah titik pengamatan

$R_1 R_2 \dots R_n$  = curah hujan di tiap titik pengamatan ( mm/hari )

#### 2.2.4. Curah Hujan Rancangan

Hujan rancangan maksimum adalah curah hujan terbesar tahunan mungkin terjadi di suatu daerah dengan kala ulang tertentu.

Berbagai metode yang dapat dipakai dalam menganalisa curah hujan rancangan antara lain distribusi *Gumbel*, *Log Normal*, *Log Pearson Type III* dan lain-lain.

Untuk menentukan macam analisa frekuensi, perlu dihitung parameter-parameter statistic seperti koefisien  $C_s$  ( koefisien kepengcangan ) dan  $C_k$  ( koefisien puncak ). Syarat untuk distribusi :

- *E.J Gumbel* :  $C_k = 5,4$  dan  $C_s = 1,14$
- *Log Normal* :  $C_k = 3,0$  dan  $C_s = 0,0$
- *Log Pearson III* :  $C_k$  dan  $C_s$  tidak ditentukan

Sumber : Harto, Sri, 1993 : 245

$C_s$  = koefisien kepengcangan

$$= \frac{n \cdot \sum (\log X - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)(\overline{\log X})^3}$$

$$C_K = \text{koefisien puncak / kurtosis}$$

$$= \frac{n^2 \sum (\log X - \overline{\log X})^4}{(n-1) \times (n-2) \times (n-3) \times (\overline{S \log X})^4}$$

Dalam studi ini dipilih cara Log Pearson III dengan pertimbangan bahwa cara ini lebih fleksibel dan dapat dipakai untuk semua sebaran data (Pilgrim, 1991:207).

#### 2.2.4.1. Hujan Rancangan dengan Menggunakan Metode Log Pearson III

Tahapan untuk menghitung hujan rancangan maksimum dengan metode Log Pearson III adalah sebagai berikut :

1. Hujan harian maksimum diubah dalam bentuk logaritma.
2. Menghitung harga logaritma rata-rata dengan rumus :

$$\overline{\text{Log}x} = \frac{\sum \text{Log}x_i}{n}$$

3. Menghitung harga simpangan baku dengan rumus :

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log}x_i - \overline{\text{Log}x})^2}{n-1}}$$

4. Menghitung harga koefisien kemiringan dengan rumus :

$$C_s = \frac{n \sum (\text{Log}x_i - \overline{\text{Log}x})}{(n-1)(n-2)S_i^3}$$

5. Menghitung logaritma hujan rancangan dengan kala ulang tertentu dengan rumus :

$$\text{Log}R_t = \text{Log}x + G.S_i$$

6. Menghitung antilog R untuk mendapatkan curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu atau dengan membaca grafik pengeplotan  $R_t$  lawan peluang di kertas logaritma.

**Tabel 2.2 Nilai Cs Negatif distribusi Log Pearson Type III**

T ( th )	1,0101	2	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs : P (%)	99	50	20	10	5	4	2	1	0,5	0,1
0	-2,326	0	0,842	1,282	1,595	1,751	2,054	2,326	2,576	3,09
-0,1	-2,4	0,017	0,846	1,27	1,567	1,716	2	2,252	2,482	2,95
-0,2	-2,427	0,033	0,85	1,258	1,539	1,68	1,945	2,178	2,308	2,81
-0,3	-2,544	0,05	0,853	1,245	1,51	1,643	1,89	2,104	2,291	2,67
-0,4	-2,615	0,066	0,855	1,231	1,481	1,606	1,834	2,029	2,201	2,53
-0,5	-2,606	0,083	0,856	1,216	1,45	1,567	1,777	1,955	2,108	2,4
-0,6	-2,755	0,099	0,857	1,2	1,419	1,528	1,72	1,88	2,016	2,27
-0,7	-2,824	0,116	0,857	1,183	1,386	1,488	1,663	1,806	1,926	2,14
-0,8	-2,021	0,132	0,856	1,166	1,354	1,448	1,606	1,733	1,837	2,02
-0,9	-2,057	0,14	0,854	1,147	1,32	1,407	1,549	1,66	1,749	1,9
-1	-3,022	0,164	0,852	1,17	1,301	1,366	1,492	1,508	1,664	1,79

Sumber : CD Soemarto, Hidrologi Teknik

**Tabel 2.3 Nilai Cs Positif distribusi Log Pearson Type III**

T ( th )	1,0101	2	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs : P (%)	99	50	20	10	5	4	2	1	0,5	0,1
0	-2,326	0	0,842	1,282	1,595	1,751	2,054	2,376	2,576	3,09
0,1	-2,252	0,017	0,836	1,297	1,622	1,785	2,107	2,4	2,67	3,23
0,2	-2,17	0,033	0,83	1,301	1,646	1,818	2,159	2,472	2,763	3,38
0,3	-2,13	0,05	0,824	1,309	1,669	1,849	2,211	2,544	2,856	3,52
0,4	-2,029	0,066	0,816	1,317	1,692	1,88	2,261	2,615	2,947	3,67
0,5	-1,955	0,083	0,808	1,323	1,714	1,91	2,311	2,606	3,041	3,81
0,6	-1,88	0,079	0,8	1,328	1,735	1,939	2,359	2,755	3,132	3,96
0,7	-1,806	0,116	0,79	1,333	1,756	1,967	2,407	2,824	3,223	4,1
0,8	-1,733	0,132	0,78	1,336	1,774	1,993	2,453	2,891	3,312	4,24
0,9	-1,66	0,148	0,769	1,339	1,792	2,018	2,498	2,957	3,401	4,39
1	-1,588	0,164	0,758	1,34	1,809	2,043	2,542	3,022	3,489	4,53
1,1	-1,518	1,18	0,745	1,341	1,824	2,066	2,585	3,087	3,575	4,67

Sumber : CD Soemarto, Hidrologi Teknik

### 2.2.5. Uji Kesesuaian Distribusi ( *Chi Square* dan *Smirnov-Kolmogorov* )

Pemeriksaan uji kesesuaian distribusi bertujuan untuk mengetahui kesesuaian data yang tersedia dengan distribusi yang dipakai. Uji yang dipakai ada dua macam, yaitu :

#### 1. Uji *Chi Square*

Uji *Chi Square* dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter  $\chi^2$ . ( Soewarno, 1995: 194 )

Parameter  $\chi^2$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\chi^2_{\text{hitung}} = \sum_{i=1}^k \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i}$$

Dengan :  $\chi^2_{\text{hitung}}$  = Parameter chi – kuadrat terhitung

k = jumlah sub – kelompok

OF = jumlah nilai pengamatan pada sub – kelompok

EF = jumlah nilai teoritis pada sub – kelompok

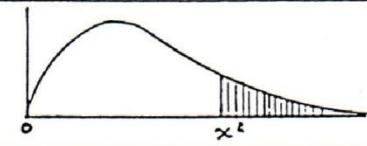
Prosedur perhitungan adalah :

1. Urutkan data pengamatan dari kecil ke besar
2. Kelompok data menjadi G sub group
3. Jumlahkan data dari pengamatan sebesar  $O_i$  tiap – tiap sub group
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar  $E_i$
5. Tiap – tiap sub group hitung nilai :

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

6. Jumlah seluruh k sub group nilai  $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$  untuk menentukan nilai *Chi – Kuadrat* hitung.

Tabel 2.4 Harga untuk *Chi – Kuadrat Test*



Degrass of freedom	Probability of a deviation grether than $\chi^2$				
	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001
1	1,642	2,706	3,841	6,635	10,827
2	3,219	4,605	5,991	9,210	13,815
3	4,642	6,251	7,815	11,345	16,265
4	5,989	7,779	9,488	13,277	18,465
6	8,558	10,645	12,592	16,812	22,547
7	9,803	12,017	14,067	18,475	24,322
8	11,030	13,362	15,507	20,090	26,125
9	12,242	14,684	16,919	21,666	27,877
10	13,442	15,987	18,307	23,209	29,588
11	14,631	17,275	19,675	24,725	31,264
12	15,812	18,549	21,026	26,217	32,909
13	16,985	19,812	22,362	27,688	34,528
14	18,151	21,064	23,685	29,141	36,123
15	19,311	22,307	24,996	30,578	37,697
16	20,465	23,542	26,296	32,000	39,252
17	21,615	24,769	27,587	33,409	40,790
18	22,760	25,989	28,869	34,805	42,312
19	23,900	27,204	30,144	36,191	43,820
20	25,038	28,412	31,410	37,566	45,315

Sumber : CD Soemarto, 1995 : 223

2. Uji Smirnov - Kolmogorov

Uji Smirnov Kolmogorov digunakan untuk menguji kesesuaian distribusi secara horisontal dari probabilitas. Rumus yang digunakan adalah (1995 : 199) :

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

Dengan :

D = selisih terbesar antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis

P ( X<sub>m</sub> ) = peluang pengamatan

P' ( X<sub>m</sub> ) = peluang teoritis dari persamaan distribusi yang dipakai

Dengan pemeriksaan uji ini akan diketahui :

- 1 Kebenaran anantara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis
2. Kebenaran hipotesa diterima atau ditolak.



Uji kesesuaian *Smirnov – Kolmogorov*, sering juga disebut uji kecocokan non parametrik ( *non parametric test* ), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Urutkan data ( dari yang besar ke yang kecil atau sebaliknya ) dan juga besarnya peluang dari masing masing data tersebut (  $P(X_m)$  )
2. Tentukan nilai masing – masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data ( persamaan distribusinya )  $P'(X_m)$
3. Dari kedua nilai peluang ditentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis
4. Berdasarkan tabel nilai kritis ( *Smirnov – Kolmogorov Test* ), lihat Tabel 2.3, bisa tentukan harga  $D_0$ .

Apabila  $D < D_0$  maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila  $D$  lebih besar dari pada  $D_0$  maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

Tabel 2.5 Nilai Kritis  $D_0$  untuk uji *Smirnov – Kolmogorov*

$n \backslash \alpha$	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
$n > 50$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Sumber : CD Soemarto, 1995 : 199

### 2.2.6. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran (  $C$  ) adalah suatu variabel yang didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah untuk menentukan besarnya limpasan permukaan tersebut dimana penentuannya didasarkan pada kondisi Daerah Aliran Sungai dan kondisi hujan yang jatuh di daerah tersebut serta kondisi dan karakteristik daerah tersebut. Adapun kondisi dan karakteristik yang dimaksud adalah:

1. Keadaan hujan,
2. Luas dan bentuk daerah aliran,
3. Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai,
4. Daya infiltrasi dan perkolasi tanah,
5. Kebasahan tanah,
6. Suhu udara dan angin serta evaporasi dan
7. Tata guna tanah.

Angka koefisien pengaliran ini merupakan indikator untuk menentukan apakah suatu DAS telah mengalami gangguan ( Asdak, 2001 : 157 ). Nilai  $C$  yang besar menunjukkan bahwa lebih banyak air hujan yang melimpas. Hal tersebut kurang menguntungkan karena besarnya jumlah air yang akan menjadi air tanah akan berkurang. Kerugian lainnya adalah dengan semakin besarnya jumlah air hujan yang melimpas maka ancaman erosi dan banjir semakin besar.

Koefisien pengaliran seperti yang disajikan pada tabel berikut, didasarkan dengan suatu pertimbangan bahwa koefisien tersebut sangat tergantung pada faktor-faktor fisik.

**Tabel 2.6.. Angka Koefisien Pengaliran**

No.	Kondisi Daerah Pengaliran Sungai	Angka Pengaliran (C)
1.	Pegunungan	0,75 - 0,90
2.	Pegunungan Tersier	0,70 - 0,80
3.	Tanah Berelief Berat dan Berhutan Kayu	0,50 - 0,75
4.	Dataran Pertanian	0,45 - 0,60
5.	Dataran Sawah Irigasi	0,70 - 0,80
6.	Sungai di Pegunungan	0,75 - 0,85
7.	Sungai di Dataran Rendah	0,45 - 0,75
8.	Sungai Besar Yang Sebagian Alirannya Berada di Dataran Rendah	0,50 - 0,75

Sumber : Sosrodarsono S, (1980)

Apabila tataguna lahan suatu daerah termasuk campuran, maka nilai tetapan C harus diberi bobot (weighted) untuk memperoleh nilai rata – rata tertimbang (Asdak, 2001,165) :

$$C_{\text{tertimbang}} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i C_i}{A_i}$$

Dengan :

A = luas daerah

c = koefisien limpasan

### 2.2.7 Intensitas Hujan dan Waktu Konsentrasi

Intensitas hujan didefinisikan sebagai tinggi curah hujan persatuan waktu. Untuk mendapatkan intensitas hujan selama waktu konsentrasi digunakan rumus *Mononobe* (Imam Subarkah, 1980:20), sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{T_c} \right)^{2/3}$$

dengan :

I = intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

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

T<sub>c</sub> = waktu konsentrasi

Waktu konsentrasi dihitung dengan teoritis, tetapi karena daerah pertanian yang diukur secara langsung tidak terlalu besar, maka besarnya waktu konsentrasi dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$T_c = 0,0195 \left( \frac{L_s}{\sqrt{S}} \right)^{0,77} \text{ menit}$$

Dengan :

L = panjang saluran (m)

S = kemiringan rerata saluran

### 2.2.8 Curah Hujan Netto Jam – jaman

Hujan netto adalah bagian hujan total yang menghasilkan limpasan langsung ( *direct run – off* ). Limpasan langsung ini terjadi dari limpasan permukaan ( *surface run-off* ) dan interflow ( air yang masuk kedalam lapisan tipis dibawah permukaan tanah dengan permeabilitas rendah yang keluar lagi di tempat yang lebih rendah dan berubah menjadi limpasan permukaan ).

Besarnya curah hujan netto  $R_n$  dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R_n = C.R$$

Dengan :

$R_n$  = Hujan netto ( mm/hari )

C = Koefisien pengaliran

R = Curah hujan maksimum rancangan ( mm/hari )

### 2.2.9 Debit Banjir Rancangan

Untuk membuat hidrograf banjir pada sungai – sungai yang tidak ada atau sedikit sekali data tentang debit banjir, maka perlu dicari karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut. Dalam hal ini biasanya digunakan hidrograf satuan sintetik, dimana parameter – parameternya harus disesuaikan terlebih dahulu dengan karakteristik daerah pengaliran yang ditinjau (Soemarmo, 1986:164)

Macam – macam hidrograf satuan sintetik:

#### 1. HSS Nakayasu

Penggunaan metode ini memerlukan beberapa karakteristik parameter daerah alirannya, seperti :

- Tenggang waktu dari permukaan hujan sampai puncak hidrograf (*time of peak*)
- Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time lag*)
- Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*)
- Luas daerah aliran sungai
- Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*)

Nakayasu dari Jepang telah menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai di Jepang. Ia membuat rumusan hidrograf satuan sintetik dari hasil penyelidikannya tersebut, yaitu sebagai berikut:

Rumus dari hidrograf satuan Nakayasu adalah:

$$Q_p = \frac{CA \cdot R_o}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})}$$

dengan :

$Q_p$  = debit puncak banjir ( $m^3/dt$ )

$R_o$  = hujan satuan (mm)

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

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

CA = luas daerah pengaliran sampai outlet ( $km^2$ )

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

$$T_p = t_g + 0,8 t_r$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g$$

$$T_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g$$

$t_g$  adalah time lag yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak banjir (jam).  $t_g$  dihitung dengan ketentuan sebagai berikut :

- sungai dengan panjang alur  $L > 15$  km :  $t_g = 0,4 + 0,058 L$
- sungai dengan panjang alur  $L < 15$  km :  $t_g = 0,21 L^{0,7}$

Perhitungan  $T_{0,3}$  menggunakan ketentuan:

- $\alpha = 2$  pada daerah pengaliran biasa
- $\alpha = 1,5$  pada bagian naik hidrograf lambat, dan turun cepat
- $\alpha = 3$  pada bagian naik hidrograf cepat, dan turun lambat

- Pada waktu naik :  $0 < t < T_p$

$$Q_a = (t/T_p)^{2,4}$$

dimana  $Q_a$  adalah limpasan sebelum mencapai debit puncak ( $m^3/dt$ )

- Pada kurva turun (*decreasing limb*)

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

$$Q_{d1} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}}}$$

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

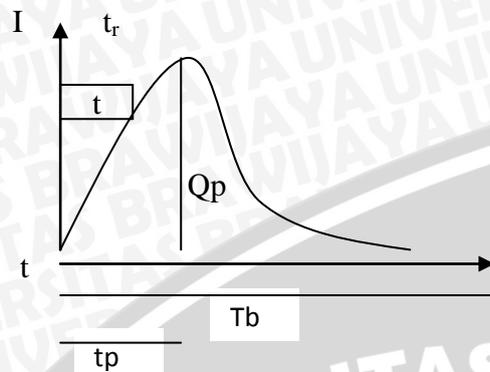
$$Q_{d2} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}}}$$

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

$$Q_{d3} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+1,5T_{0,3})}{2T_{0,3}}}$$

## 2. HSS Snyder

Ditentukan secara cukup baik dengan tinggi  $d = 1$  cm, dan dengan ketiga unsur yang lain, yaitu  $Q_p$  ( $m^3/detik$ ),  $T_b$  serta  $t_r$  (jam).



Unsur hidrograf tersebut dihubungkan dengan:

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

$L$  = panjang aliran utama (km)

$L_c$  = jarak antara titik berat daerah pengaliran dengan pelepasan (outlet) yang diukur sepanjang aliran utama.

Dengan unsur-unsur tersebut di atas, Snyder membuat rumus-rumus sebagai berikut:

- $t_p = C_t (L L_c)^{0,3}$
- $t_r = t_p/5.5$
- $Q_p = 2,78.C_p.A/t_p$
- $t_b = 72 + 3t_p/24$

Koefisien-koefisien  $C_t$  dan  $C_p$  harus ditentukan secara empiris, karena besarnya berubah-ubah antara daerah yang satu dengan daerah yang lain. Besarnya  $C_t = 0,75 - 3,00$ , sedangkan besarnya  $C_p = 0,9 - 1,4$ .

HSS Snyder ini telah digunakan pada perbaikan sungai Citandui di Jawa Barat. Rumus Snyder di Indonesia mengalami perubahan :

1. Pada rumus  $t_p$  pangkat diganti "n"
2.  $t_r$  diganti  $t_e$ ,  $t_r = 1$  jam

$$t_e = \frac{t_p}{5,5}$$

3. Hubungan  $t_e$ ,  $t_p$ ,  $t_r$  dan  $T_p$

$$t_e > t_r \quad \text{maka} \quad t_p' = t_p (t_e - t_r)$$

$$T_p = t_p' + 0,5$$

$t_e < t_r$  maka  $T_p = t_p + 0,5$

4.  $q_p = 0,278 C_p/T_p$  maka  $Q_p = q.p.A$

Rumus Snyder diatas hanya mendapatkan  $T_p, T_b$  dan  $Q_p$ . Untuk mendapatkan hidrograf digunakan lengkung Alexejev

1.  $Q = f(t)$

2.  $y = Q / Q_p$  dan  $x = t/T_p$

3.  $y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}}$

$a = 1,32 \lambda^2 + 0,15 \lambda + 0,045$

$\lambda = h = 1 \text{ mm}$

3. HSS Gamma 1

HSS ini dikembangkan oleh Sri Harto yang diturunkan berdasarkan teori hidrograf satuan sintetik yang dikemukakan oleh Sherman. HSS Gamma I merupakan rumus empiris berdasarkan beberapa parameter-parameter DAS. Parameter tersebut adalah:

1. faktor sumber (SF), yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai –sungai tingkat satu (orde 1) dengan jumlah panjang sungai – sungai di semua tingkat.
2. frekuensi sumber (SN), yaitu perbandingan antara jumlah pangsa sungai-sungai tingkat satu (orde 1) dengan jumlah pangsa sungai-sungai di semua tingkat.
3. Faktor lebar (WF), yaitu perbandingan antara luas DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0,75 L dengan lebar DAS yang diukur di titik sungai yang berjarak 0,25 L dari stasiun Hidrometri.
4. 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.
5. Faktor simetri (SIM), yaitu hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RUA)
6. Jumlah pertemuan sungai (JN) adalah jumlah semua pertemuan sungai dalam DAS tersebut. Jumlah ini tidak lain adalah jumlah pangsa sungai tingkat satu dikurangi satu.
7. Kerapatan jaringan kuras (D), yaitu jumlah panjang sungai sama tingkat tiap satuan luas DAS.

Selanjutnya hidrograf satuan dijabarkan dengan empat variabel pokok, yaitu waktu naik ( $T_r$ ), debit puncak ( $Q_p$ ), waktu dasar ( $T_b$ ) dan koefisien tampungan ( $k$ ) persamaan tersebut:

- $Tr = 0.43 \left( \frac{L}{100.SF} \right)^3 + 1.0665 SIM + 1.2775$
- $Tb = 27.4132 Tr^{0.1457} S^{-0.0986} SN^{0.7344} RUA^{0.2574}$
- $Qp = 0.1836 A^{0.5886} Tr^{-0.4008} JN^{0.2381}$
- $k/C = 0.5617 A^{0.1798} S^{-0.1446} SF^{-1.0897} D^{0.0452}$
- $Qt = Qp \cdot e^{-(t/k)}$

### 2.3. Banjir

#### Umum

Banjir adalah suatu kondisi di mana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuang (palung sungai) atau terhambatnya aliran air di dalam saluran pembuang, sehingga meluap menggenangi daerah (dataran banjir) sekitarnya. (Suripin, "Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan"). Banjir merupakan peristiwa alam yang dapat menimbulkan kerugian harta benda penduduk serta dapat pula menimbulkan korban jiwa. Dikatakan banjir apabila terjadi luapan air yang disebabkan kurangnya kapasitas penampang saluran. Banjir di bagian hulu biasanya arus banjirnya deras, daya gerusnya besar, tetapi durasinya pendek. Sedangkan di bagian hilir arusnya tidak deras (karena landai), tetapi durasi banjirnya panjang.

Beberapa karakteristik yang berkaitan dengan banjir, di antaranya adalah :

1. Banjir dapat datang secara tiba – tiba dengan intensitas besar namun dapat langsung mengalir.
2. Banjir datang secara perlahan namun intensitas hujannya sedikit.
3. Pola banjirnya musiman.
4. Banjir datang secara perlahan namun dapat menjadi genangan yang lama di daerah depresi.
5. Akibat yang ditimbulkan adalah terjadinya genangan, erosi, dan sedimentasi. Sedangkan akibat lainnya adalah terisolasinya daerah pemukiman dan diperlukan evakuasi penduduk

#### 2.3.1. Faktor Penyebab Banjir

Banyak faktor menjadi penyebab terjadinya banjir. Namun secara umum penyebab terjadinya banjir dapat diklasifikasikan dalam 2 kategori, yaitu banjir yang disebabkan oleh sebab-sebab alami dan banjir yang diakibatkan oleh tindakan manusia.

Yang termasuk sebab-sebab alami terjadinya banjir di antaranya adalah :

1. Curah hujan

Curah hujan dapat mengakibatkan banjir apabila turun dengan intensitas tinggi, durasi lama, dan terjadi pada daerah yang luas.

2. Pengaruh Fisiografi

Fisiografi atau geografi fisik sungai seperti bentuk, fungsi dan kemiringan daerah pengaliran sungai (DPS), kemiringan sungai, geometrik hidrolis (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang, material dasar sungai), lokasi sungai dll, merupakan hal-hal yang mempengaruhi terjadinya banjir.

3. Erosi dan Sedimentasi

Erosi dan sedimentasi di DPS berpengaruh terhadap pengurangan kapasitas penampang sungai. Erosi dan sedimentasi menjadi problem klasik sungai-sungai di Indonesia. Besarnya sedimentasi akan mengurangi kapasitas saluran, sehingga timbul genangan dan banjir di sungai.

4. Menurunnya Kapasitas Sungai

Pengurangan kapasitas aliran banjir pada sungai dapat disebabkan oleh pengendapan yang berasal dari erosi DPS dan erosi tanggul sungai yang berlebihan dan sedimentasi di sungai yang dikarenakan tidak adanya vegetasi penutup dan penggunaan lahan yang tidak tepat.

5. Pengaruh Air Pasang

Air pasang laut memperlambat aliran sungai ke laut. Pada waktu banjir bersamaan dengan air pasang yang tinggi maka tinggi genangan atau banjir menjadi besar karena terjadi aliran balik (backwater).

6. Kapasitas Drainase Yang Tidak Memadai

Hampir semua kota-kota di Indonesia mempunyai drainase daerah genangan yang tidak memadai, sehingga kota-kota tersebut sering menjadi langganan banjir di musim hujan.

Sedangkan sebab - sebab yang timbul akibat faktor manusia adalah :

1. Menurunnya fungsi DAS di bagian hulu sebagai daerah resapan

Kemampuan DAS, khususnya di bagian hulu untuk meresapkan air / menahan air hujan semakin berkurang oleh berbagai sebab, seperti penggundulan hutan, usaha pertanian yang kurang tepat, perluasan kota, dan perubahan tata guna lahan lainnya. Hal tersebut dapat memperburuk masalah banjir karena dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas banjir.

## 2. Kawasan kumuh

Perumahan kumuh yang terdapat di sepanjang tepian sungai merupakan penghambat aliran. Luas penampang aliran sungai akan berkurang akibat pemanfaatan bantaran untuk pemukiman kumuh warga. Masalah kawasan kumuh dikenal sebagai faktor penting terhadap masalah banjir daerah perkotaan.

## 3. Sampah

Ketidaksiplinan masyarakat yang membuang sampah langsung ke sungai bukan pada tempat yang ditentukan dapat mengakibatkan naiknya muka air banjir.

## 4. Bendung dan bangunan lain

Bendung dan bangunan lain seperti pilar jembatan dapat meningkatkan elevasi muka air banjir karena efek aliran balik (backwater).

## 5. Kerusakan bangunan pengendali banjir

Pemeliharaan yang kurang memadai dari bangunan pengendali banjir sehingga menimbulkan kerusakan dan akhirnya menjadi tidak berfungsi dapat meningkatkan kuantitas banjir.

## 6. Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat

Beberapa sistem pengendalian banjir memang dapat mengurangi kerusakan akibat banjir kecil sampai sedang, tetapi mungkin dapat menambah kerusakan selama banjir-banjir yang besar. Sebagai contoh bangunan tanggul sungai yang tinggi. Limpasan pada tanggul pada waktu terjadi banjir yang melebihi banjir rencana dapat menyebabkan keruntuhan tanggul, hal ini menimbulkan kecepatan aliran air menjadi sangat besar yang melalui bobolnya tanggul sehingga menimbulkan banjir yang besar. (Robert J. Kodoatie, Sugiyanto, "Banjir")

### 2.4.. Tanggul

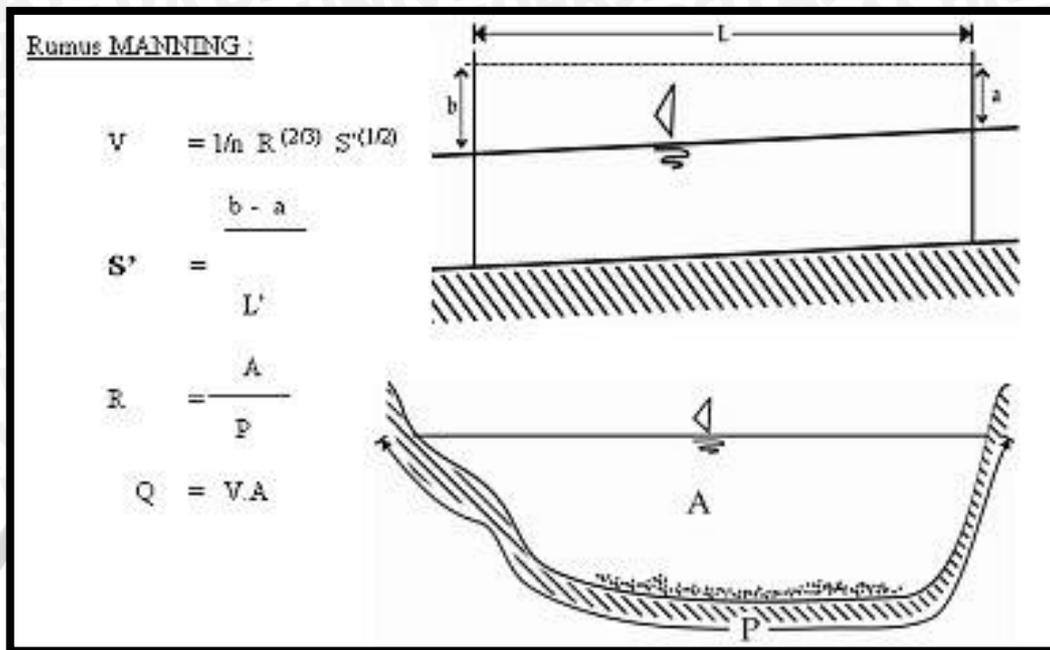
Tanggul di sepanjang sungai adalah salah satu bangunan yang paling utama dan paling penting dalam usaha melindungi kehidupan dan harta benda masyarakat terhadap genangan – genangan yang disebabkan oleh banjir. Tanggul dibangun terutama dengan konstruksi urugan tanah, karena tanggul merupakan bangunan menerus yang sangat panjang serta membutuhkan bahan urugan yang volumenya sangat besar (Sosrodarsono, 1985:83).

Pada setiap perencanaan tanggul, kriteria-kriteria sebagai berikut harus terpenuhi:

1. Tubuh tanggul harus kuat menerima tekanan air
2. Tubuh tanggul harus cukup stabil
3. Tubuh tanggul harus cukup tingginya

### 2.4.1. Rumus Manning

Tinggi tanggul dapat dicari menggunakan rumus manning, dengan rumus seperti berikut :



**Gambar 2.5 Rumus Manning**

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

$$V = \frac{i}{n} (R)^{(2/3)} S^{(1/2)}$$

Dimana :

V : Kecepatan aliran ( m/s )

N : koefisien kekasaran menurut manning ( bilangan yang mempunyai nilai dimensional  $TL^{-1/3}$  )

i : Kemiringan saluran samping ( % )

s : Kemiringan melintang normal perkerasan jalan ( % )

$$R : \frac{A_w}{P}$$

Dimana :

$A_w$  : Luas penampang basah

P : Keliling penampang basah.

## 2.4.2. Dimensi Tanggul

### 1. Tinggi jagaan

Tinggi tanggul akan ditentukan berdasarkan tinggi muka air rencana pada kala ulang 25 tahun dengan penambahan jagaan yang diperlukan. Jagaan adalah tinggi tambahan dari tinggi muka air rencana dimana air tidak diijinkan melimpah. Tabel dibawah ini memperlihatkan standar hubungan antara besarnya debit banjir rencana dengan tinggi jagaan yang disarankan.

**Tabel 2.7. Hubungan antara Debit Banjir Rencana dengan Tinggi Jagaan**

No	Debit BanjirRencana (m <sup>3</sup> /detik)	Jagaan (m)
1	Kurang dari 200	0,6
2	200 – 500	0,8
3	500 – 2000	1
4	2000 – 5000	1,2
5	5000 – 10000	1,5
6	10000 atau lebih	2

Sumber : Sosrodarsono, 1995:87

### 2. Lebar mercu tanggul

Pada daerah yang padat dimana perolehan areal tanah untuk tempat kedudukan tanggul sukar untuk didapatkan dan sangat mahal, pembangunan tanggul dengan mercu yang tidak lebar dan dengan lerengnya yang agak curam kelihatannya cukup memadai, khususnya apabila hanya ditinjau dari segi stabilitas tanggulnya. Akan tetapi mercu yang cukup lebar (3-7 m) biasanya diperlukan apabila ditinjau dari keperluan untuk perondaan diwaktu banjir dan sebagai jalan-jalan inspeksi serta logistik untuk pemeliharaan tanggul. Berikut merupakan lebar standar mercu tanggul berdasarkan debit banjir rencana.

**Tabel 2.8 Lebar Standar Mercu Tanggul**

No	Debit BanjirRencan (m <sup>3</sup> /detik)	Lebar Mercu (m)
1	Kurang dari 200	2
2	200 – 500	3
3	500 – 2000	4
4	2000 – 5000	5
5	5000 – 10000	6
6	10000 atau lebih	7

Sumber : Sosrodarsono, 1995:87

### 3. Kemiringan lereng tanggul

Penentuan kemiringan lereng tanggul merupakan tahapan yang paling penting dalam perencanaan tanggul dan sangat erat kaitannya dengan infiltrasi air dalam tubuh tanggul serta karakteristik mekanika tanah tubuh tanggul tersebut. Dalam keadaan biasa tanpa perkuatan lereng, tanggul direncanakan 1 : 2 atau lebih kec 1. Berm dan elevasi kemiringan talud dasar mempunyai hubungan yang sangat erat satu sama lain dan keduanya harus ditentukan melalui pengujian terhadap bahan badan tanggul, durasi banjir, stabilitas terhadap kebocoran dari tinggi air dan pondasi subsoil dari pada tanggul tersebut.

Hal tersebut dapat ditunjukkan sebagai berikut:

- a. Berm harus disediakan 3 – 5 m dari puncak pada sisi bagian air bila tinggi tanggul 6 m atau lebih, dan tiap-tiap dari sampai 3 m dari puncak pada sisi bagian tanah bila tinggi tanggul 4 m atau lebih
- b. Lebar 3 m atau lebih. Miring talud tanggul harus merupakan keiringan landai bandingan 1 : 2 atau lebih, namun hal itu tidak perlu bila talud permukaan dilapisi dengan beton atau bahan serupa.

### 4. Bahan tanah urugan tanggul

Bahan utama pembuatan tanggul adalah tanah dan karakteristik bahan tanah tersebut merupakan faktor penting dalam penentuan bentuk penampang lintang tanggul. Pada hakikatnya tanah yang baik untuk tanggul adalah bahan tanah yang mempunyai sifat-sifat antara lain kekedapannya tinggi, nilai kohesinya tinggi, dalam keadaan jenuh air sudut geser daamnya cukup tinggi, pekat dan angka porinya rendah.

## 2.5. Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi dalam studi pembangunan sumber daya air sudah merupakan hal rutin baik dalam tahap *master plan*, *reconnaissance*, *apprisial*, *feasibility study*, saat pembuatan PCR (*Project Completion Report*), maupun dalam tahapan yang dianggap perlu dalam studi-studi khusus untuk mengevaluasi keberhasilan atau kegagalan suatu proyek (Suyanto dkk, 2001:33).

Analisa ekonomi perlu dilakukan pada proyek-proyek yang dibiayai dari dana pinjaman atau obligasi pemerintah dan dititik beratkan pada aspek sosial profitabilitas/manfaat kepada perekonomian negara secara keseluruhan.

### 2.5.1. Biaya (*Cost*)

Biaya atau *cost* menurut Firdaus A. Dunia (1994:21) dalam Nopa Ariyanto adalah pengeluaran-pengeluaran atau nilai pengorbanan untuk memperoleh barang atau jasa yang berguna untuk masa yang akan datang. Biaya investasi proyek didefinisikan sebagai

jumlah semua pengeluaran dana yang diperlukan untuk melaksanakan proyek sampai selesai. Menurut Kuiper (1971) dalam Robert J. Kodoatie biaya dikelompokkan menjadi dua, yaitu biaya modal (*capital cost*) dan biaya tahunan (*annual cost*).

#### 2.5.1.1. Biaya Modal (*Capital Cost*)

Definisi biaya modal adalah biaya nyata yang harus dikeluarkan mulai pra studi sampai proyek selesai dibangun. Tujuan dari biaya modal tersebut agar instansi dapat mengetahui biayanya nyata atau riil yang harus dikeluarkan untuk mendanai biaya operasional instansi terkait. Semua pengeluaran termasuk biaya modal dibagi menjadi dua bagian yaitu :

##### a) Biaya Langsung (*Direct Cost*)

Biaya langsung adalah biaya yang berkaitan langsung dengan volume pekerjaan yang menjadi komponen permanen hasil proyek. Komponen biaya langsung terdiri dari biaya upah pekerja, operasi peralatan, dan material. Semua biaya yang berada dalam kendali subkontraktor termasuk kategori biaya langsung.

##### b) Biaya Tak Langsung (*Indirect Cost*)

Biaya tak langsung merupakan biaya yang tidak terkait langsung dengan besaran volume komponen fisik hasil akhir proyek, tetapi mempunyai kontribusi terhadap penyelesaian kegiatan atau proyek. Umumnya biaya tak langsung tidak termasuk dalam daftar item pembayaran dalam kontrak dan tidak dirinci. Komponen biaya tak langsung proyek konstruksi dalam proses penawaran biasanya dimasukkan oleh kontraktor dalam setiap jenis pekerjaan. Kategori biaya tak langsung antara lain adalah : biaya eksploitasi (*overhead*), pajak (*taxes*), biaya umum (*general conditions*), dan biaya resiko.

#### 2.5.1.2. Biaya Tahunan (*Annual Cost*)

Biaya tahunan merupakan biaya yang dikeluarkan pemilik/investor setelah proyek selesai dibangun dan mulai dimanfaatkan. Biaya tahunan dikeluarkan selama usia guna rencana proyek yang dibuat pada waktu perencanaan. Menurut Kodoatie (2005) biaya tahunan terdiri dari tiga komponen yaitu :

- Bunga

Biaya bunga menyebabkan perubahan biaya modal karena adanya tingkat suku bunga selama umur proyek.

Besarnya biaya ini bisa berbeda dengan bunga selama waktu perencanaan hingga pelaksanaan fisik selesai.

- Depresiasi atau Amortisasi

Depresiasi adalah penyusutan suatu harga/nilai dari sebuah benda karena pemakaian dan kerusakan atau keusangan benda tersebut. Sedangkan amortisasi adalah pembayaran dalam suatu periode tertentu sehingga hutang akan terbayar lunas pada akhir periode tersebut.

- Biaya Operasi dan Pemeliharaan

Biaya operasi dan pemeliharaan diperlukan agar suatu proyek tersebut dapat memenuhi usia guna yang sebelumnya sudah direncanakan.

### **2.5.2. Biaya Resiko.**

Biaya resiko merupakan biaya yang didapatkan dari probabilitas terjadinya debit banjir dikalikan dengan kerugian.

Dengan kerugian sebagai berikut :

Soeprihono mengatakan, selama bulan November kerugian akibat banjir mencapai Rp 14 miliar. Kerusakan itu meliputi prasarana jalan serta saluran pengairan. Namun kerugian paling besar berasal pada kerusakan jalan. Untuk saluran irigasi yang jebol seperti di Cihaur, hanya sebesar Rp 300 juta. Sedangkan untuk jalan yang mencakup 21 ruas di Sidareja dan panjang 48 km, nilai kerugiannya mencapai Rp 7 miliar. Sementara untuk kerusakan prasarana umum masih dalam proses penghitungan, Soemaryo mengatakan, kerusakan itu meliputi ada tiga lokal gedung SD di Karanggedang, Sidareja yang ambruk akibat banjir. Untuk lahan pertanian, jumlah areal persawahan yang terendam banjir mencapai 1.100 hektare (Menurut Suprihono, Kepala Dinas Pekerjaan Umum (DPU) Cilacap)

### **2.6. Tanggul Ekonomis.**

Agar pembuatan tanggul dapat seefisien mungkin dan seekonomis mungkin dari berbagai aspeknya, maka tanggul harus dibuat dengan volume sekecil mungkin dengan massa jenis sebesar mungkin sehingga nantinya akan menghasilkan dimensi semimumum mungkin dengan begitu data pembuatan tanggul dapat dibuat dengan seekonomis mungkin namun tetap aman digunakan.

Jika tidak ingin membangun terlalu tinggi maka kita dapat merubah lebar tanggul menjadi lebih lebar sehingga tinggi tanggul nantinya tidak akan menjulang terlalu tinggi. Karena ketika merubah lebar tanggul maka nantinya akan mempengaruhi tinggi minimal tanggul, lebar tanggul berbanding terbalik dengan tinggi tanggul.

Tanggul ekonomis dapat dihitung setelah didapat *Harga Satuan Pekerjaan per- m<sup>3</sup>* dan mengalikannya dengan volume pekerjaan, sehingga kita dapat menentukan tanggul dengan kala ulang banjir mana yang paling ekonomis.

## 2.7. Stabilitas Lereng.

Penelitian terhadap kemantapan suatu lereng harus dilakukan bila longsor lereng yang mungkin terjadi akan menimbulkan akibat yang merusak dan menimbulkan bencana. Kemantapan lereng tergantung pada gaya penggerak dan penahan yang ada pada lereng tersebut. Gaya penggerak adalah gaya-gaya yang mengakibatkan lereng longsor. Sedangkan gaya penahan adalah gaya-gaya yang mempertahankan kemantapan lereng tersebut. Jika gaya penahannya lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut dalam keadaan mantap. Kemantapan suatu lereng biasanya dinyatakan dalam bentuk Faktor Keamanan (F) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rightarrow F = \text{gaya penahan} / \text{gaya penggerak}$$

### 1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kemantapan Lereng

Kemantapan lereng selalu dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain : geometri lereng, struktur geologi, kondisi air tanah, sidat fisik dan mekanik batuan serta gaya-gaya yang bekerja pada lereng.

#### a. Geometri Lereng

Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kemantapannya. Semakin besar kemiringan dan tinggi suatu lereng, maka kemantapannya semakin kecil.

#### b. Struktur Batuan

Struktur batuan yang sangat mempengaruhi kemantapan lereng adalah bidang-bidang sesar, perlapisan dan rekahan. Struktur batuan tersebut merupakan bidang-bidang lemah dan sekaligus sebagai tempat merembesnya air, sehingga batuan lebih mudah longsor.

#### c. Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Sifat fisik batuan yang mempengaruhi kemantapan lereng adalah : bobot isi (density), porositas dan kandungan air. Kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kohesi, dan sudut geser dalam merupakan sifat mekanik batuan yang juga mempengaruhi kemantapan lereng.

#### – Bobot Isi

Bobot isi batuan akan mempengaruhi besarnya beban pada permukaan bidang longsor. Sehingga semakin besar bobot isi batuan, maka gaya penggerak yang

menyebabkan lereng longsor akan semakin besar. Dengan demikian, kemantapan lereng tersebut semakin berkurang.

– Porositas

Batuan yang mempunyai porositas besar akan banyak menyerap air. Dengan demikian bobot isinya menjadi lebih besar, sehingga akan memperkecil kemantapan lereng.

– Kandungan Air

Semakin besar kandungan air dalam batuan, maka tertekan air pori menjadi besar juga. Dengan demikian kuat geser batuan akan menjadi semakin kecil, sehingga kemantapannya pun berkurang.

Kuat geser batuan yang dinyatakan sebagai berikut :

Dimana :

$t$  = kuat geser batuan ( $\text{ton/m}^2$ )

$c$  = kohesi ( $\text{ton/m}^2$ )

$s$  = tegangan normal ( $\text{ton/m}^2$ )

$m$  = tekanan air pori ( $\text{ton/m}^2$ )

$f$  = sudut geser dalam (derajat)

– Kuat Tekan, Kuat Tarik, dan Kuat Geser

Kekuatan batuan biasanya dinyatakan dengan kuat tekan (confined & unconfined compressive strength), kuat tarik (tensile strength) dan kuat geser (shear strength). Batuan yang mempunyai kekuatan besar, akan lebih mantap.

– Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Semakin besar kohesi dan sudut geser dalam, maka kekuatan geser batuan akan semakin besar juga. Dengan demikian akan lebih mantap.

– Pengaruh Gaya

Biasanya gaya-gaya dari luar yang mempengaruhi kemantapan lereng antara lain : getaran alat-alat berat yang bekerja pada atau sekitar lereng, peledakan, gempa bumi, dll. Semua gaya-gaya tersebut akan memperbesar tegangan geser sehingga dapat mengakibatkan kelongsoran pada lereng.

### 2.7.1 Bidang Runtuh Busur Lingkaran.

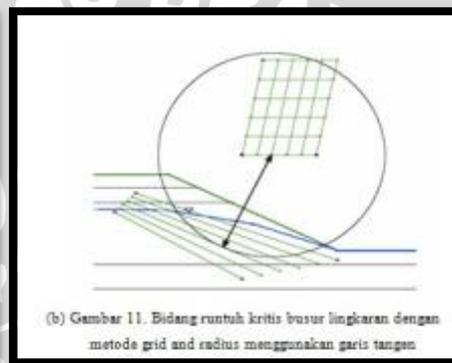
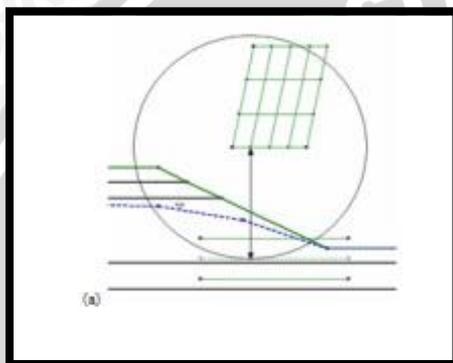
Lokasi bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran dapat ditentukan antara lain dengan menggunakan dua metode sebagai berikut:\

– Metode *Grid and Radius*

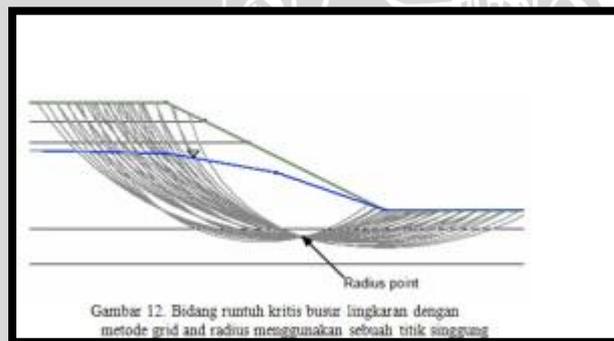
– Metode *Entry and Exit*

### Metode Grid and Radius

Dalam metode grid dan radius, bidang runtuh busur lingkaran dibuat dengan menentukan titik pusat lingkaran dan radius lingkaran atau garis yang menyinggung lingkaran. Titik-titik pada grid digunakan sebagai pusat dari lingkaran-lingkaran yang akan dicoba. Apabila digunakan adalah garis yang menyinggung lingkaran maka radius lingkaran adalah jarak tegak lurus dari pusat lingkaran terhadap garis singgung. Garis singgung dapat berupa garis horisontal maupun garis miring, seperti yang terlihat pada Gambar 2.6. Cara lain yang dapat digunakan yaitu dengan menggunakan grid pusat lingkaran dan sebuah titik atau beberapa titik yang dilewati oleh lingkaran tersebut, seperti yang terlihat pada Gambar 2.7.



(a) Gambar 2.6. Bidang runtuh kritis busur lingkaran dengan metode grid and radius menggunakan garis tangen



(b) Gambar 2.7. Bidang runtuh kritis busur lingkaran dengan metode grid and radius menggunakan sebuah titik singgung

### Perhitungan Faktor Keamanan

Faktor keamanan terhadap kesetimbangan momen (FM) dan faktor keamanan terhadap kesetimbangan gaya (FF) harus dihitung secara serentak dengan mengasumsikan nilai dari faktor skala (I) harus terlebih dahulu. Prinsip dari perhitungan ini adalah untuk mencari suatu nilai faktor skala yang menghasilkan perbedaan absolut dari  $(FM - FF)$  lebih

kecil dari toleransi yang diberikan. Apabila kondisi tersebut sudah dipenuhi berarti kondisi kesetimbangan gaya dan momen telah dapat dipenuhi.

### **Pengaruh Asumsi Gaya Geser Antar-irisan Terhadap Ketelitian Perhitungan Faktor Keamanan**

Salah satu faktor yang mempengaruhi ketelitian perhitungan faktor keamanan adalah asumsi mengenai geser antar irisan yang digunakan. Untuk metode-metode yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen, pada umumnya pengaruh dari asumsi gaya geser antar irisan terhadap perhitungan faktor keamanan untuk semua bentuk bidang runtuh adalah kecil sekali dan dapat diabaikan. Namun hal tersebut tidak berlaku pada metode-metode yang tidak memenuhi semua kondisi kesetimbangan. Pada umumnya untuk semua bentuk bidang runtuh, kecuali bidang runtuh busur lingkaran, terdapat pengaruh yang cukup besar dari asumsi gaya geser antar-irisan terhadap faktor keamanan dengan kesetimbangan momen (FM). Faktor keamanan dengan kesetimbangan gaya (FF) juga dipengaruhi oleh asumsi gaya geser antar-irisan yang digunakan, kecuali untuk bidang runtuh planar.

#### **2.7.2. Metode Irisan Biasa (Metode Fellenius)**

Ada beberapa metode untuk menganalisis kestabilan lereng, yang paling umum digunakan ialah metode irisan yang dicetuskan oleh Fellenius (1939). Metode ini banyak digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng yang tersusun oleh tanah, dan bidang gelincirnya berbentuk busur (arc-failure).

Menurut Sowers (1975), tipe longsorang terbagi kedalam 3 bagian berdasarkan kepada posisi bidang gelincirnya, yaitu longsorang kaki lereng (toe failure), longsorang muka lereng (face failure), dan longsorang dasar lereng (base failure). Longsorang kaki lereng umumnya terjadi pada lereng yang relatif agak curam ( $>45^\circ$ ) dan tanah penyusunnya relatif mempunyai nilai sudut geser dalam yang besar ( $>30^\circ$ ). Longsorang muka lereng biasa terjadi pada lereng yang mempunyai lapisan keras (hard layer), dimana ketinggian lapisan keras ini melebihi ketinggian kaki lerengnya, sehingga lapisan lunak yang berada diatas lapisan keras berbahaya untuk longsor. Longsorang dasar lereng biasa terjadi pada lereng yang tersusun oleh tanah lempung, atau bisa juga terjadi pada lereng yang tersusun oleh beberapa lapisan lunak (soft seams).

Metode irisan biasa ( Fellenius, 1936 ) merupakan metode yang paling sederhana diantara beberapa metode irisan. Metode ini juga dinamakan sebagai metode lingkaran Swedia. Asumsi yang digunakan dalam metode ini adalah resultan gaya antar irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang runtuh, serta bidang runtuh

berupa sebuah busur lingkaran. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini hanya kesetimbangan momen untuk semua irisan pada pusat lingkaran runtuh.

Gaya-gaya yang bekerja pada tiap irisan

Gaya normal total ditentukan dengan menggunakan kesetimbangan gaya dalam arah tegak lurus dasar irisan, besarnya yaitu:  $N = W \cos \alpha - kW \sin \alpha$

**Tabel 2.9 Nilai faktor keamanan kejadian atau intensitas kelongsoran**

Fs kurang dari 1,07	Longsor sering terjadi ( lereng labil )
Fs 1,07 sampai 1,25	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
Fs diatas 1,25	Lereng stabil

Sumber : Fellenius, 1936

