

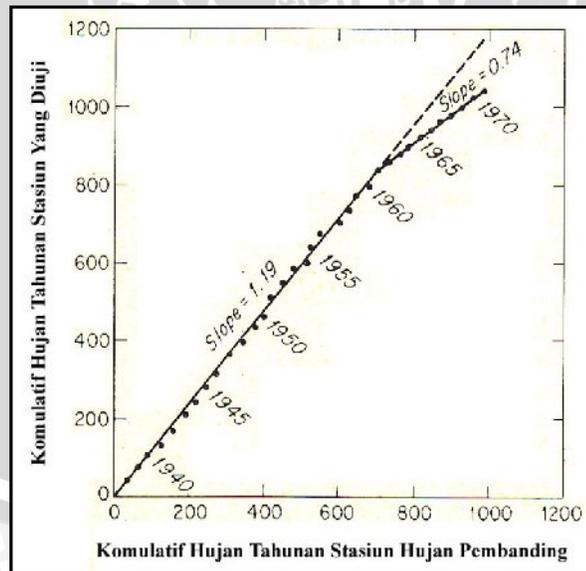
BAB II
KAJIAN PUSTAKA

2.1. Analisa Hidrologi

Proses analisa hidrologi merupakan proses yang sangat penting dalam suatu perencanaan yang berhubungan dengan bidang keairan. Pada dasarnya, proses analisis ini merupakan proses pengolahan data curah hujan, data luas dan bentuk daerah pengaliran (*catchment area*), data kemiringan lahan, tata guna lahan yang kesemuanya memiliki arahan untuk mengetahui besarnya curah hujan maksimum. Dan juga koefisien pengaliran, waktu konsentrasi, intensitas curah hujan serta debit banjir rencana.

2.1.1. Analisis Kurva Massa Ganda (*Double Mass Curve Analysis*)

Perubahan atau pemindahan lokasi stasiun hujan, gangguan lingkungan, kerusakan instrumentasi, ketidaksesuaian prosedur pengukuran seringkali menjadikan adanya perubahan relatif terhadap nilai data hujan yang tercatat. Oleh karena itu untuk menghasilkan hasil analisa hidrologi yang baik, pemeriksaan terhadap konsistensi data hujan diperiksa dengan metode kurva massa ganda (*double mass curve*) seperti pada Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Uji konsistensi data dengan kurva massa ganda
Sumber : Triatmodjo (2010 : 42)

Prosedur yang digunakan untuk melakukan uji konsistensi data dengan metode kurva massa ganda adalah sebagai berikut :

- a. Metode ini membandingkan hujan tahunan kumulatif di stasiun y (stasiun yang diuji) terhadap stasiun referensi x (stasiun pembanding).
- b. Stasiun pembanding adalah nilai rerata dari beberapa stasiun di dekatnya.
- c. Nilai kumulatif tersebut digambarkan pada sistem koordinat X – Y dalam bentuk dalam bentuk diagram pencar (*scatter diagram*) antara stasiun yang akan diuji dan stasiun pembanding.
- d. Melakukan analisa terhadap konsistensi data hujan. Apabila pencatatan garis yang terbentuk lurus berarti pencatatan di stasiun yang diuji konsisten.
- e. Apabila kemiringan kurva patah atau berubah, berarti pencatatan di stasiun yang diuji tak konsisten dan perlu dikoreksi.
- f. Koreksi dilakukan dengan mengalikan data setelah kurva berubah dengan perbandingan kemiringan setelah dan sebelum kurva patah.

Pengujian dengan metode ini akan memberikan hasil yang baik, jika dalam suatu DAS terdapat banyak stasiun hujan, karena dengan jumlah stasiun hujan yang banyak akan memberikan nilai rata-rata hujan tahunan sebagai pembanding terhadap stasiun yang di uji lebih dapat mewakili secara baik. Oleh karena itu jumlah minimal stasiun hujan untuk pengujian ini adalah 3 stasiun hujan dan jika hanya terdapat 2 stasiun hujan atau bahkan 1 stasiun hujan, maka tidak dapat dilakukan pengujian konsistensi data hujan dan oleh karenanya kita asumsikan bahwa data yang ada adalah konsisten.

2.1.2. Analisa Curah 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 dan dinyatakan dalam mm.

Dengan melakukan penakaran pada suatu stasiun hujan hanyalah didapat curah hujan di suatu titik tertentu. Bila dalam suatu area terdapat penakar curah hujan, maka untuk mendapatkan harga curah hujan areal adalah dengan mengambil harga rata-ratanya.

Metode perhitungan curah hujan rata-rata daerah dari pengamatan curah hujan dari beberapa titik, antara lain (Suripin, 2003 : 27) :

1. Metode Rerata Aritmatik

Metode ini yang paling sederhana dalam perhitungan curah hujan daerah. Metode ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, alat penakar

tersebar merata/hampir merata, dan cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, dan harga individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya. Hujan daerah diperoleh dari persamaan berikut (Suripin, 2003 : 27).

$$P = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (2-1)$$

Dengan P_1, P_2, \dots, P_n adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n dan n adalah banyaknya pos penakar hujan.

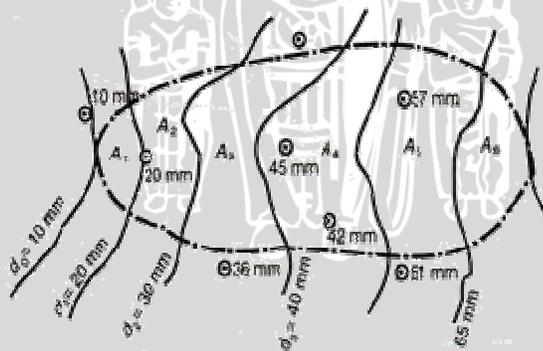
2. Metode Garis-garis Isohyet

Metode ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Metode ini cocok untuk daerah berbukit dan tidak teratur dengan luas lebih dari 5000 km². Hujan rerata daerah dihitung dengan persamaan berikut (Suripin, 2003:29).

$$P = \frac{A_1 \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) + A_2 \left(\frac{P_2 + P_3}{2} \right) + \dots + A_{n-1} \left(\frac{P_{n-1} + P_n}{2} \right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1}} = \frac{\sum \left[A \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \right]}{\sum A} \quad (2-2)$$

dimana P_1, P_2, \dots, P_n adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n. A_1, A_2, \dots, A_n adalah luas poligon 1, 2, ..., n dan n adalah banyaknya pos penakar hujan.

Penjelasan garis isohyet dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 Garis Isohyet
Sumber : Suripin, 2003 : 29

3. Metode Poligon Thiessen

Metode ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Meskipun belum dapat memberikan bobot yang tepat sebagai sumbangan satu stasiun hujan untuk hujan

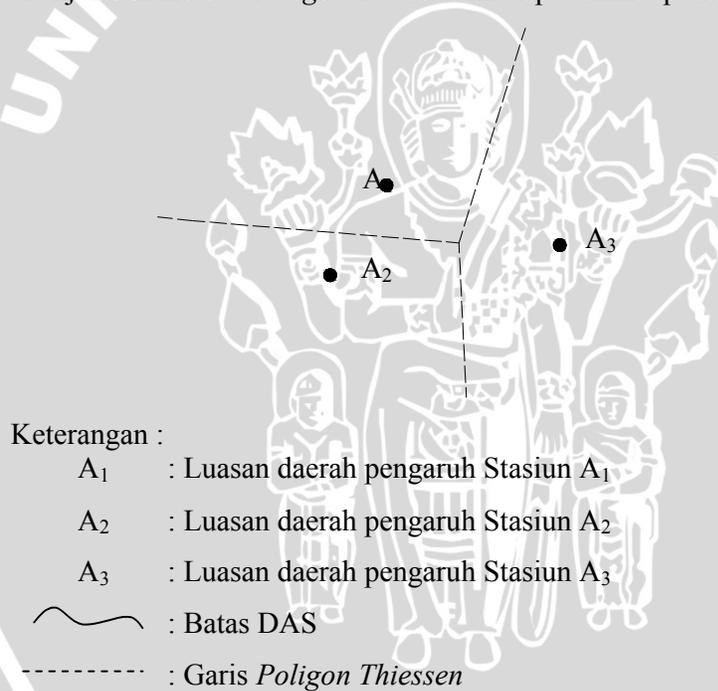
daerah, metode ini telah memberikan bobot tertentu kepada masing-masing stasiun sebagai fungsi jarak stasiun hujan. Metode ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500 - 5000 km².

Hujan rerata daerah untuk metode *Poligon Thiessen* dihitung dengan persamaan berikut (Suripin, 2003:27) :

$$P = \frac{P_1 A_1 + P_2 A_2 + \dots + P_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2-3)$$

Dengan P₁, P₂,P_n adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2,n. A₁, A₂,A_n adalah luas polygon 1, 2,n. Sedangkan n adalah banyaknya pos penakar hujan.

Penjelasan metode *Poligon Thiessen* ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Keterangan :

A₁ : Luasan daerah pengaruh Stasiun A₁

A₂ : Luasan daerah pengaruh Stasiun A₂

A₃ : Luasan daerah pengaruh Stasiun A₃

~~~~~ : Batas DAS

----- : Garis *Poligon Thiessen*

Gambar 2.3 *Poligon Thiessen*

Sumber : Suripin, 2003 : 28

Penentuan atau pemilihan metode 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.

### 2.1.3. Analisa Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan adalah curah hujan tahunan dengan suatu kemungkinan terjadi yang tertentu, atau hujan dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Metode analisa hujan tersebut pemilihannya sangat tergantung dari kesesuaian parameter statistik dari data yang bersangkutan atau dipilih berdasarkan pertimbangan-pertimbangan teknis lainnya.

Dalam studi ini untuk menentukan besar curah hujan rancangan digunakan metode analisa frekuensi Log Pearson III, karena cara ini sesuai untuk berbagai macam koefisien kepengcengan (*skewness*) dan koefisien puncak (*kurtosis*).

Tahapan untuk menghitung curah hujan rancangan dengan menggunakan metode ini adalah sebagai berikut :

1. Ubahlah data hujan tahunan sebanyak n buah  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ . Menjadi Log  $X_1, \text{Log } X_2, \text{Log } X_3, \dots, \text{Log } X_n$ .
2. Menghitung nilai tengah logaritma dengan rumus :

$$\overline{\text{Log}x} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}X_i}{n} \quad (2-4)$$

3. Menghitung nilai standar deviasinya dengan rumus :

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}x_i - \overline{\text{Log}x})^2}{n-1}} \quad (2-5)$$

4. Menghitung koefisien kepengcengan dengan rumus :

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log}x_i - \overline{\text{Log}x})^3}{(n-1)(n-2)S_i^3} \quad (2-6)$$

5. Menghitung logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Log}X_i = \overline{\text{Log}x} + G.S_i \quad (2-7)$$

6. Dengan harga  $G$  merupakan koefisien faktor frekuensi (diperoleh berdasarkan  $C_s$  dan tingkat probabilitasnya).
7. Tentukan anti log dari  $\log X$ , untuk mendapatkan nilai  $X$  yang diharapkan terjadi pada tingkat peluang atau periode tertentu sesuai dengan nilai  $C_s$  nya. Nilai  $C_s$  dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Dengan :

$\log XT$  = Logaritma hujan rancangan dengan kala ulang 1 tahun (mm/hari)

$\overline{\log x}$  = Logaritma hujan rata-rata (mm/hari)

$S$  = Standar deviasi data

$C_s$  = Koefisien kepengcangan

$G$  = Faktor frekuensi

$N$  = Banyaknya tahun pengamatan



Tabel 2.1. Faktor frekuensi (K) fungsi dari nilai koefisien asimetri (Cs) dan kala ulang (T)

| Cs   | Kala Ulang, T (Tahun)                   |        |        |       |       |       |       |       |         |       |
|------|-----------------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
|      | 1.01                                    | 1.25   | 2      | 5     | 10    | 25    | 50    | 100   | 200     | 1000  |
|      | Probabilitas disamai atau dilampaui (%) |        |        |       |       |       |       |       |         |       |
|      | 99                                      | 80     | 50     | 20    | 10    | 4     | 2     | 1     | 0.5     | 0.1   |
| 3    | -0.667                                  | -0.636 | -0.396 | 0.420 | 1.180 | 2.278 | 3.152 | 4.051 | 4.970   | 7.250 |
| 2.9  | -0.690                                  | -0.651 | -0.390 | 0.440 | 1.195 | 2.277 | 3.134 | 4.013 | 4.909   | 7.120 |
| 2.8  | -0.714                                  | -0.666 | -0.384 | 0.460 | 1.210 | 2.275 | 3.114 | 3.973 | 4.847   | 6.990 |
| 2.7  | -0.740                                  | -0.681 | -0.376 | 0.479 | 1.224 | 2.272 | 3.097 | 3.932 | 4.783   | 6.860 |
| 2.6  | -0.769                                  | -0.696 | -0.368 | 0.499 | 1.238 | 2.267 | 3.071 | 3.889 | 4.718   | 6.730 |
| 2.5  | -0.799                                  | -0.711 | -0.360 | 0.518 | 1.250 | 2.262 | 3.048 | 3.845 | 4.652   | 6.600 |
| 2.4  | -0.832                                  | -0.725 | -0.351 | 0.537 | 1.262 | 2.256 | 3.023 | 3.800 | 4.584   | 6.467 |
| 2.3  | -0.867                                  | -0.739 | -0.341 | 0.555 | 1.274 | 2.248 | 2.997 | 3.753 | 4.515   | 6.333 |
| 2.2  | -0.905                                  | -0.752 | -0.330 | 0.574 | 1.284 | 2.240 | 2.970 | 3.705 | 4.444   | 6.200 |
| 2.1  | -0.946                                  | -0.765 | -0.319 | 0.592 | 1.294 | 2.230 | 2.942 | 3.656 | 4.372   | 6.055 |
| 2    | -0.990                                  | -0.777 | -0.307 | 0.609 | 1.302 | 2.219 | 2.912 | 3.605 | 4.398   | 5.910 |
| 1.9  | -1.037                                  | -0.788 | -0.294 | 0.627 | 1.310 | 2.207 | 2.881 | 3.553 | 4.223   | 5.785 |
| 1.8  | -1.087                                  | -0.799 | -0.282 | 0.643 | 1.318 | 2.193 | 2.848 | 3.499 | 4.147   | 5.660 |
| 1.7  | -1.140                                  | -0.808 | -0.268 | 0.660 | 1.324 | 2.179 | 2.815 | 3.444 | 4.069   | 5.525 |
| 1.6  | -1.197                                  | -0.817 | -0.254 | 0.675 | 1.329 | 2.163 | 2.780 | 3.388 | 3.990   | 5.390 |
| 1.5  | -1.256                                  | -0.825 | -0.240 | 0.690 | 1.333 | 2.146 | 2.743 | 3.330 | 3.910   | 5.250 |
| 1.4  | -1.318                                  | -0.832 | -0.225 | 0.705 | 1.337 | 2.128 | 2.706 | 3.271 | 3.828   | 5.110 |
| 1.3  | -1.388                                  | -0.838 | -0.210 | 0.719 | 1.339 | 2.108 | 2.666 | 3.211 | 3.745   | 4.965 |
| 1.2  | -1.449                                  | -0.844 | -0.195 | 0.732 | 1.340 | 2.087 | 2.626 | 3.149 | 3.661   | 4.820 |
| 1.1  | -1.518                                  | -0.848 | -0.180 | 0.745 | 1.341 | 2.006 | 2.585 | 3.087 | 3.575   | 4.680 |
| 1    | -1.588                                  | -0.852 | -0.164 | 0.758 | 1.340 | 2.043 | 2.542 | 3.022 | 3.489   | 4.540 |
| 0.9  | -1.660                                  | -0.854 | -0.148 | 0.769 | 1.339 | 2.018 | 2.498 | 2.957 | 3.401   | 4.395 |
| 0.8  | -1.733                                  | -0.856 | -0.132 | 0.780 | 1.336 | 1.993 | 2.453 | 2.891 | 3.312   | 4.250 |
| 0.7  | -1.806                                  | -0.857 | -0.116 | 0.790 | 1.333 | 1.967 | 2.407 | 2.824 | 3.223   | 4.105 |
| 0.6  | -1.880                                  | -0.857 | -0.099 | 0.800 | 1.328 | 1.939 | 2.359 | 2.755 | 3.132   | 3.960 |
| 0.5  | -1.955                                  | -0.856 | -0.083 | 0.808 | 1.323 | 1.910 | 2.311 | 2.686 | 3.041   | 3.815 |
| 0.4  | -2.029                                  | -0.855 | -0.066 | 0.816 | 1.317 | 1.880 | 2.261 | 2.615 | 2.949   | 3.670 |
| 0.3  | -2.104                                  | -0.853 | -0.050 | 0.824 | 1.309 | 1.849 | 2.211 | 2.544 | 2.856   | 3.525 |
| 0.2  | -2.175                                  | -0.850 | -0.033 | 0.830 | 1.301 | 1.818 | 2.159 | 2.472 | 2.763   | 3.380 |
| 0.1  | -2.252                                  | -0.846 | -0.017 | 0.836 | 1.292 | 1.785 | 2.107 | 2.400 | 2.670   | 3.235 |
| 0    | -2.326                                  | -0.842 | 0.000  | 0.842 | 1.282 | 1.751 | 2.054 | 2.326 | 2.576   | 3.090 |
| -0.1 | -2.400                                  | -0.836 | 0.017  | 0.846 | 1.270 | 1.716 | 2.000 | 2.252 | 2.482   | 2.950 |
| -0.2 | -2.472                                  | -0.830 | 0.033  | 0.850 | 1.258 | 1.680 | 1.945 | 2.178 | 2.388   | 2.810 |
| -0.3 | -2.544                                  | -0.824 | 0.050  | 0.853 | 1.245 | 1.643 | 1.890 | 2.104 | 2.294   | 2.675 |
| -0.4 | -2.615                                  | -0.816 | 0.066  | 0.855 | 1.231 | 1.606 | 1.834 | 2.029 | 2.201   | 2.540 |
| -0.5 | -2.686                                  | -0.808 | 0.083  | 0.856 | 1.216 | 1.567 | 1.777 | 1.955 | 2.108   | 2.400 |
| -0.6 | -2.755                                  | -0.800 | 0.099  | 0.857 | 1.200 | 1.528 | 1.720 | 1.880 | 2.016   | 2.275 |
| -0.7 | -2.824                                  | -0.790 | 0.116  | 0.857 | 1.183 | 1.488 | 1.663 | 1.806 | 1.926   | 2.150 |
| -0.8 | -2.891                                  | -0.780 | 0.132  | 0.856 | 1.166 | 1.448 | 1.606 | 1.733 | 1.837   | 2.035 |
| -0.9 | -2.957                                  | -0.769 | 0.148  | 0.854 | 1.147 | 1.407 | 1.549 | 1.660 | 1.749   | 1.910 |
| -1   | -3.022                                  | -0.758 | 0.164  | 0.852 | 1.128 | 1.366 | 1.492 | 1.588 | 1.664   | 1.800 |
| -1.1 | -3.087                                  | -0.745 | 0.180  | 0.848 | 1.107 | 1.324 | 1.435 | 1.518 | 1.581   | 1.713 |
| -1.2 | -3.149                                  | -0.732 | 0.195  | 0.844 | 1.086 | 1.282 | 1.379 | 1.449 | 1.501   | 1.625 |
| -1.3 | -3.211                                  | -0.719 | 0.210  | 0.838 | 1.064 | 1.240 | 1.324 | 1.383 | 1.424   | 1.545 |
| -1.4 | -3.271                                  | -0.705 | 0.225  | 0.832 | 1.041 | 1.198 | 1.270 | 1.318 | 1.351   | 1.465 |
| -1.5 | -3.330                                  | -0.690 | 0.240  | 0.825 | 1.018 | 1.157 | 1.217 | 1.318 | 1.282   | 1.373 |
| -1.6 | -3.388                                  | -0.875 | 0.254  | 0.817 | 0.994 | 1.116 | 1.166 | 1.197 | 1.216   | 1.280 |
| -1.7 | -3.444                                  | -0.660 | 0.268  | 0.808 | 0.970 | 1.075 | 1.116 | 1.140 | 1.155   | 1.205 |
| -1.8 | -3.499                                  | -0.643 | 0.282  | 0.799 | 0.945 | 1.035 | 1.069 | 1.087 | 1.097   | 1.130 |
| -1.9 | -3.553                                  | -0.627 | 0.294  | 0.788 | 0.920 | 0.996 | 1.023 | 1.037 | 1.044   | 1.065 |
| -2   | -3.605                                  | -0.609 | 0.307  | 0.777 | 0.895 | 0.959 | 0.980 | 0.990 | 0.995   | 1.000 |
| -2.1 | -3.656                                  | -0.592 | 0.319  | 0.765 | 0.869 | 0.923 | 0.939 | 0.946 | 0.949   | 0.955 |
| -2.2 | -3.705                                  | -0.574 | 0.330  | 0.752 | 0.844 | 0.888 | 0.900 | 0.905 | 0.907   | 0.910 |
| -2.3 | -3.753                                  | -0.555 | 0.341  | 0.739 | 0.819 | 0.855 | 0.864 | 0.867 | 0.869   | 0.874 |
| -2.4 | -3.800                                  | -0.537 | 0.351  | 0.725 | 0.795 | 0.823 | 0.830 | 0.832 | 0.833   | 0.838 |
| -2.5 | -3.845                                  | -0.518 | 0.360  | 0.711 | 0.771 | 0.793 | 0.798 | 0.799 | 0.800   | 0.802 |
| -2.6 | -3.889                                  | -0.499 | 0.368  | 0.696 | 0.747 | 0.764 | 0.768 | 0.769 | 0.769   | 0.775 |
| -2.7 | -3.932                                  | -0.479 | 0.376  | 0.681 | 0.724 | 0.738 | 0.740 | 0.740 | 0.741   | 0.748 |
| -2.8 | -3.973                                  | -0.460 | 0.384  | 0.666 | 0.702 | 0.712 | 0.714 | 0.714 | 714.000 | 0.722 |

Sumber : Soemarto, CD, 1987 : 246

#### 2.1.4. Uji Kesesuaian Distribusi

Untuk mengetahui apakah pemilihan distribusi yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rancangan diterima atau ditolak, maka perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi. Uji ini dilakukan secara horisontal dengan menggunakan *Metode Smirnov Kolmogorov* dan vertikal dengan menggunakan *Metode Chi Square*.

##### 2.1.4.1. Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara horizontal, yaitu merupakan selisih simpangan maksimum antara distribusi teoritis dan empiris ( $\Delta_0$ ). Dengan pemeriksaan uji ini akan diketahui :

1. Kebenaran antara 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.

Langkah-langkah pengujian *Smirnov-Kolmogorov* adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995 : 198) :

1. Mengurutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan juga besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.
2. Menentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).
3. Dari kedua nilai peluang ditentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
4. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov Test*) dapat ditentukan harga  $\Delta_{cr}$  atau nilai kritisnya.

Apabila  $\Delta_0$  (nilai hitung) lebih kecil dari  $\Delta_{cr}$  (nilai kritis) maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila  $\Delta_0$  lebih besar dari  $\Delta_{cr}$  maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima. Nilai  $\Delta_{cr}$  untuk uji *Smirnov-Kolmogorov* tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2. berikut ini.

Tabel 2.2 Nilai kritis ( $\Delta_{cr}$ ) untuk uji *Smirnov-Kolmogorov*

| N<br>(jumlah data tahun) | a (derajat kepercayaan) |                        |                        |                        |
|--------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                          | 0.200                   | 0.100                  | 0.050                  | 0.010                  |
| 5                        | 0.450                   | 0.510                  | 0.560                  | 0.670                  |
| 10                       | 0.320                   | 0.370                  | 0.410                  | 0.490                  |
| 15                       | 0.270                   | 0.300                  | 0.340                  | 0.400                  |
| 20                       | 0.230                   | 0.260                  | 0.290                  | 0.360                  |
| 25                       | 0.210                   | 0.240                  | 0.270                  | 0.320                  |
| 30                       | 0.190                   | 0.220                  | 0.240                  | 0.290                  |
| 35                       | 0.180                   | 0.200                  | 0.230                  | 0.270                  |
| 40                       | 0.170                   | 0.190                  | 0.210                  | 0.250                  |
| 45                       | 0.160                   | 0.180                  | 0.200                  | 0.240                  |
| 50                       | 0.150                   | 0.170                  | 0.190                  | 0.230                  |
| N > 50                   | $\frac{1.07}{n^{0.5}}$  | $\frac{1.22}{n^{0.5}}$ | $\frac{1.36}{n^{0.5}}$ | $\frac{1.63}{n^{0.5}}$ |

Sumber : Soewarno, 1995 : 199

### 2.1.4.2. Uji *Chi-Square*

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara vertikal apakah distribusi pengamatan dapat diterima secara teoritis. Pada penggunaan Uji *Smirnov-Kolmogorov*, meskipun menggunakan perhitungan matematis namun kesimpulan hanya berdasarkan bagian tertentu (sebuah *variant*) yang mempunyai penyimpangan terbesar, sedangkan Uji *Chi-Square* menguji penyimpangan distribusi data pengamatan dengan mengukur secara matematis kedekatan antara data pengamatan dan seluruh bagian garis persamaan distribusi teoritisnya. Uji *Chi-Square* dapat diturunkan menjadi persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995: 194):

$$X^2 = \sum \frac{(E_f - O_f)^2}{E_f} \tag{2-8}$$

Dengan :

$X^2 = Chi-Square$ .

$E_f$  = frekuensi (banyaknya pengamatan) yang diharapkan, sesuai dengan pembagian kelasnya.

$O_f$  = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama.

Nilai  $X^2$  yang dihitung ini harus lebih kecil dari harga  $X^2_{cr}$  (yang didapat dari tabel *Chi-Square*).

Derajat kebebasan ini secara umum dapat dihitung dengan :

$$DK = K - (P + 1) \tag{2-9}$$

Dengan :

DK = derajat kebebasan.

K = banyaknya kelas.

P = banyaknya keterikatan atau sama dengan banyaknya parameter, yang untuk sebaran *Chi-Square* adalah sama dengan 2 (dua).

Berdasarkan literatur di atas, pada uji *Chi-Square* menguji penyimpangan distribusi data pengamatan dengan mengukur secara matematis kedekatan antara data pengamatan dan seluruh bagian garis persamaan distribusi teoritisnya dengan nilai  $X^2_{cr}$ .

Nilai  $X^2_{cr}$  untuk uji *Chi Square* dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.3 Nilai  $X^2_{cr}$  untuk uji *Chi-Square*

| Derajat Kebebasan (DK) | 0.200  | 0.100  | 0.050  | 0.010  | 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 | 16.268 |
| 4                      | 5.989  | 7.779  | 9.488  | 13.277 | 18.465 |
| 5                      | 7.289  | 9.236  | 11.070 | 15.086 | 20.517 |
| 6                      | 8.558  | 10.645 | 12.592 | 16.812 | 22.457 |
| 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 | 14.987 | 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 : Soewarno, 1995 : 223

## 2.2. Analisa Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan adalah debit banjir yang dipergunakan sebagai dasar untuk merencanakan kemampuan dan ketahanan suatu bangunan pengairan dengan suatu kemungkinan terjadi kala ulang tertentu, atau debit dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Untuk menganalisa debit banjir rancangan dapat dilakukan dengan menggunakan metode hidrograf yang dilakukan dengan menggunakan bantuan

model hidrograf satuan sintetis dan metode non hidrograf yang dilakukan dengan bantuan teknik analisa frekuensi.

### 2.2.1. Kriteria Perencanaan Penentuan Kala Ulang Banjir

Berbagai macam bangunan-bangunan air memerlukan perhitungan hidrologi yang merupakan bagian dari perencanaan bangunan-bangunan tersebut. Pemilihan kala ulang (*return period*) banjir rancangan untuk bangunan air adalah suatu masalah yang sangat bergantung pada analisa statistik dari urutan kejadian banjir baik berupa debit air di sungai maupun curah hujan badai. Untuk mempermudah pemecahan masalah, pertimbangan ekonomi diabaikan sehingga hanya berdasarkan teori kemungkinan yang sering disebut juga dengan resiko kegagalan (*risk of failure*), atau kemungkinan terjadinya banjir rancangan sekali atau lebih selama umur bangunan (*life time*) suatu bangunan air. Resiko kegagalan tersebut digambarkan dengan rumus sebagai berikut

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{L}{T}\right) \quad (2-10)$$

dengan :

P = adalah resiko kegagalan

L = adalah umur rencana (*design life*)

T = adalah tahun berulangya

Pemilihan suatu teknik analisa penentuan banjir rancangan tergantung dari data-data yang tersedia dan macam dari bangunan air tersebut. Kriteria pemilihan banjir dengan hanya meninjau kemungkinan terjadinya banjir yang lebih besar atau sama dengan banjir rencana, sekali atau lebih selama bangunan air tersebut berdiri. Kriteria lain yang dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan banjir rancangan sebagai berikut.

Tabel 2.4 Kriteria pemilihan kala ulang banjir rancangan

| No. | Jenis Bangunan Air                                            | Kala Ulang Banjir<br>T (Tahun) |
|-----|---------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 1   | Bendungan urugan tanah / batu ( <i>earth/rockfill dam</i> )   | 1000                           |
| 2   | Bendungan beton / batu kali ( <i>concrete dam / masonry</i> ) | 500 - 1000                     |
| 3   | Bendung ( <i>weir</i> )                                       | 50 - 100                       |
| 4   | Saluran pengelak banjir ( <i>flood diversion canal</i> )      | 20 - 50                        |
| 5   | Tanggul sungai                                                | 10 - 20                        |
| 6   | Drainasi saluran di sawah / permukiman                        | 5 - 10                         |

Sumber : Suwanto, 2007 : 49

### 2.2.2. Koefisien Pengaliran (*run-off coefficient*)

Koefisien Pengaliran (C) adalah perbandingan antara jumlah air yang mengalir di suatu daerah akibat turunnya hujan dengan jumlah air hujan yang turun di daerah tersebut. Besarnya koefisien pengaliran tergantung pada daerah pengaliran dan karakteristik hujan pada suatu daerah yang meliputi keadaan hujan, luas dan bentuk daerah pengaliran, kemiringan daerah pengaliran, daya infiltrasi dan perkolasi tanah, kebasahan tanah, suhu, udara, angin, evaporasi serta tata guna lahan. Angka koefisien pengaliran untuk berbagai kondisi DAS seperti ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 2.5 Koefisien pengaliran didasarkan pada tata guna lahan

| Tata Guna Lahan         | C         | Tata Guna Lahan                        | C         |
|-------------------------|-----------|----------------------------------------|-----------|
| <b>Perkantoran</b>      |           | <b>Tanah lapang</b>                    |           |
| Daerah pusat kota       | 0.7-0.95  | Berpasir. datar. 2%                    | 0.05-0.10 |
| Daerah sekitar kota     | 0.50-0.70 | Berpasir. agak rata. 2-7%              | 0.10-0.15 |
| <b>Perumahan</b>        |           | Berpasir. miring. 7%                   | 0.15-0.20 |
| Rumah tinggal           | 0.30-0.50 | Tanah berat. datar. 2%                 | 0.13-0.17 |
| Rumah susun. terpisah   | 0.40-0.60 | Tanah berat. agak datar. 2-7%          | 0.18-0.22 |
| Rumah susun. bersambung | 0.60-0.75 | Tanah berat. miring. 7%                | 0.25-0.35 |
| Pinggiran kota          | 0.25-0.40 | <b>Tanah pertanian. 0-30%</b>          |           |
| <b>Daerah industri</b>  |           | Tanah kosong                           |           |
| Kurang padat industri   | 0.50-0.80 | Rata                                   | 0.03-0.60 |
| Padat industri          | 0.60-0.90 | Kasar                                  | 0.20-0.50 |
| Taman.kuburan           | 0.10-0.25 | Ladang Garapan                         |           |
| Tempat bermain          | 0.20-0.35 | Tanah berat. tanpa vegetasi            | 0.30-0.60 |
| Daerah stasiun KA       | 0.20-0.40 | Tanah berat. dengan vegetasi           | 0.20-0.50 |
| Daerah tak berkembang   | 0.10-0.30 | Berpasir. tanpa vegetasi               | 0.20-0.25 |
| <b>Jalan Raya</b>       |           | Berpasir. dengan vegetasi              | 0.10-0.25 |
| Beraspal                | 0.70-0.95 | Padang Rumput                          |           |
| Berbeton                | 0.80-0.95 | Tanah berat                            | 0.15-0.45 |
| Berbatu bata            | 0.70-0.85 | Berpasir                               | 0.05-0.25 |
| Trotoar                 | 0.75-0.85 | Hutan/bervegetasi                      | 0.05-0.25 |
| Daerah beratap          | 0.75-0.95 | <b>Tanah Tidak Produktif. &gt; 30%</b> |           |
|                         |           | Rata. kedap air                        | 0.70-0.90 |
|                         |           | Kasar                                  | 0.50-0.70 |

Sumber : Asdak, 2002 : 164

### 2.2.3. Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) dengan Metode Mononobe

Dalam menentukan debit banjir rancangan, perlu didapatkan harga suatu intensitas curah hujan. Intensitas curah hujan adalah ketinggian yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi. Intensitas curah hujan dinotasikan dengan huruf I dengan satuan (mm/jam), yang artinya tinggi curah hujan yang terjadi sekian mm dalam kurun waktu per jam Analisis intensitas curah hujan ini

dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi dimasa lampau melalui pencatatan curah hujan otomatis (*Automatic Rainfall Recorder, ARR*). Apabila yang tersedia adalah data hujan harian, Mononobe mengusulkan persamaan sebagai berikut (Triatmodjo, 2010 : 266)

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2-11)$$

Dengan:

$I_t$  = intensitas curah hujan untuk lama hujan  $t$  (mm/jam)

$R_{24}$  = curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

$t$  = lamanya curah hujan (jam)

### 2.2.3.1. Hyetograph Hujan Rancangan

Dalam perhitungan banjir rancangan, diperlukan masukan berupa hujan rancangan yang didistribusikan ke dalam hujan jam-jaman (*hyetograph*). Untuk dapat mengubah hujan rancangan ke dalam besaran hujan jam-jaman perlu didapatkan terlebih dahulu suatu pola distribusi hujan jam-jaman. Pola distribusi untuk keperluan perancangan bisa didapatkan dengan melakukan pengamatan dari kejadian-kejadian hujan besar. Dengan mereratakan pola distribusi hujan hasil pengamatan tersebut, kemudian didapatkan pola distribusi merata yang selanjutnya dianggap mewakili kondisi hujan dan dipakai sebagai pola untuk mendistribusikan hujan rancangan menjadi besaran hujan jam-jaman. Namun cara ini hanya dapat dilakukan apabila tersedia data hujan otomatis.

Sedangkan apabila yang tersedia adalah data hujan harian, untuk mendapatkan kedalaman hujan jam-jaman dari hujan rancangan dapat menggunakan distribusi hujan. Model distribusi hujan yang telah mengalihragamkan hujan harian ke hujan jam-jaman yaitu *Alternating Block Method* (ABM) (Triatmodjo, 2010 : 268).

#### 2.2.3.1.1. Alternating Block Method (ABM)

*Alternating Block Method* (ABM) adalah cara sederhana untuk membuat *hyetograph* rencana dari kurva Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF). *Hyetograph* rencana yang dihasilkan oleh metode ini adalah hujan yang terjadi dalam rangkaian interval waktu yang berurutan dengan durasi lama waktu hujan.

Tahapan untuk menghitung *Hyetograph* dengan metode *Alternating Block Method* (ABM) adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 2010 : 271) :

1. Menentukan durasi hujan, dalam hal ini diambil 6 jam untuk daerah kalimantan barat, Indonesia).

2. Menghitung Intensitas hujan dengan persamaan 2-11.
3. Menghitung kedalaman hujan, yaitu perkalian antara intensitas hujan dengan waktu hujan ke  $T_d$ .
4. Menghitung selisih kedalaman hujan yang berurutan.
5. Menghitung kedalaman hujan dalam persen.
6. Menempatkan nilai (%) hujan tertinggi pada kolom selanjutnya di tengah-tengah durasi hujan, yaitu baris ketiga, selanjutnya diletakkan di baris ke empat, kedua, kelima, pertama dan baris keenam.
7. Menghitung *hyetograph* dalam mm, yaitu mengalikan % *hyetograph* dengan hujan rancangan.
8. Menghitung hujan netto jam-jaman, yaitu mengalikan *hyetograph* dengan koefisien pengaliran.

#### 2.2.3.2. Hujan Netto Jam-jaman

Hujan netto adalah bagian total yang menghasilkan limpasan langsung, yang terdiri dari limpasan permukaan dan limpasan bawah permukaan. Dengan menganggap bahwa proses transformasi hujan menjadi limpasan langsung mengikuti proses linier dan tidak berubah oleh waktu (*linier and time invariant process*), maka hujan netto  $R_n$  dinyatakan sebagai berikut :

$$R_n = C * H \quad (2-13)$$

dimana :

$R_n$  = hujan netto

$C$  = koefisien pengaliran

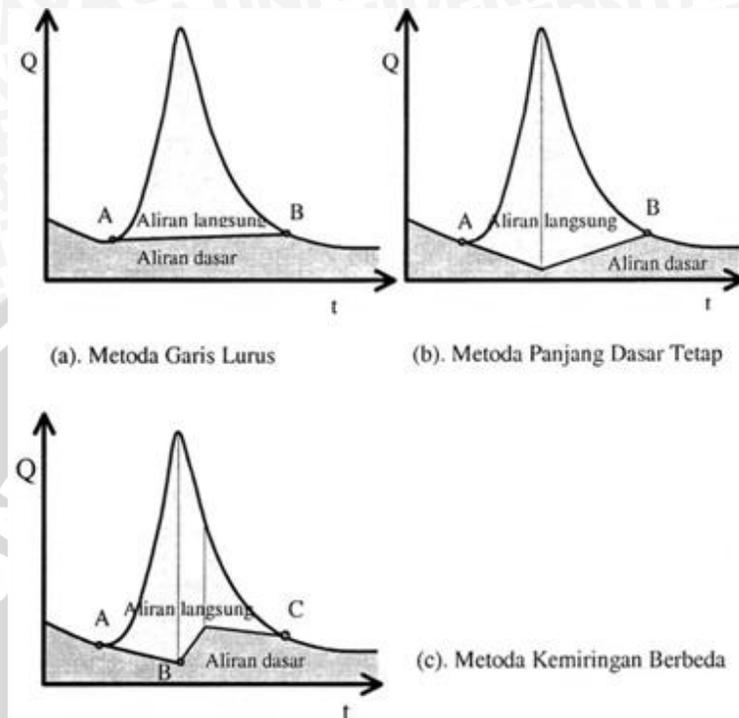
$H$  = Hyetograph

#### 2.2.3.3. Aliran Dasar (*Base Flow*)

Hidrograf tersusun dari dua komponen, yaitu aliran permukaan, yang berasal dari aliran langsung air hujan, dan aliran dasar (*base flow*). Aliran dasar berasal dari air tanah yang pada umumnya tidak memberikan respon yang cepat terhadap hujan. Hujan juga dapat dianggap terbagi dalam dua komponen, yaitu hujan efektif, dan kehilangan (*losses*). Hujan efektif adalah bagian hujan yang menyebabkan terjadinya aliran permukaan. Kehilangan hujan merupakan bagian hujan yang menguap, masuk kedalam tanah kelembaban tanah dan simpanan air tanah.

Hidrograf aliran langsung dapat diperoleh dengan memisahkan hidrograf dari aliran dasarnya. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan, diantaranya adalah metode garis lurus (*straight line method*), metode panjang dasar tetap (*fixed base*

method) dan metode kemiringan berbeda (*variable slope method*) (Suripin, 2003 : 90) seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Beberapa metode pemisahan aliran dasar dan aliran langsung  
 Sumber : Suripin, 2003 : 90

Aliran dasar (*base flow*) pada kondisi terendah adalah aliran minimum yang mengalir pada suatu sungai pada kondisi musim kering atau musim kemarau. Dalam praktek aliran dasar ini dapat dilakukan pengukuran secara langsung di lapangan dengan pengukuran kecepatan aliran dikalikan dengan luas tampang basah aliran.

Jika data debit pada suatu daerah tidak diketahui, maka untuk memperkirakan aliran dasar digunakan persamaan pendekatan dengan variabel masukan luas DAS dan kerapatan jaringan sungai (*drainage density*). Persamaan ini merupakan pendekatan untuk aliran dasar yang tetap dengan memperhatikan pendekatan *Kraijenhoff Van Der Leur* (1967) tentang hidrograf air tanah (Harto, 1993 : 165)

$$Q_B = 0.4751A^{0.6444}D^{0.9430} \quad (2-14)$$

dengan:

$Q_B$  = Aliran dasar ( $m^3/det$ )

A = Luas DAS ( $km^2$ )

D = Kerapatan jaringan sungai, yaitu jumlah panjang sungai semua tingkat

### 2.2.3.3. Hidrograf Satuan Sintetik *Nakayasu*

Hidrograf satuan sintetik metode DR. *Nakayasu* telah berulang kali diterapkan di Jawa Timur terutama pada DAS kali Brantas dan saat ini digunakan secara luas di Indonesia, bahkan oleh Departemen Pekerjaan Umum RI telah dijadikan salah satu rujukan untuk perhitungan banjir rancangan di Indonesia (Dep. PU, 1976). Penggunaan metode ini memerlukan beberapa karakteristik parameter daerah aliran sungai sebagai berikut:

- Luas daerah aliran sungai (*catchment area*)
- Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*)
- Koefisien pengaliran (*Run off Coefficient*)
- Tenggang waktu dari permulaan 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*)

Hidrograf satuan sintesis *Nakayasu* dihitung menggunakan persamaan :

$$Q_p = \frac{A * R_o}{3.6 \left( 0.3 T_p + T_{0.3} \right)} \quad (2-15)$$

Dengan :

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

$R_o$  = 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

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

Untuk menentukan  $T_p$  dan  $T_{0.3}$  digunakan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$T_p = tg + 0.8 tr \quad (2-16)$$

$$T_{0.3} = \alpha tg \quad (2-17)$$

$$Tr = 0.5 tg \text{ sampai } tg \quad (2-18)$$

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

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

$$tg = 0.4 + 0.058 L \quad (2-19)$$

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

$$tg = 0.21 L^{0.7} \quad (2-20)$$

dengan :

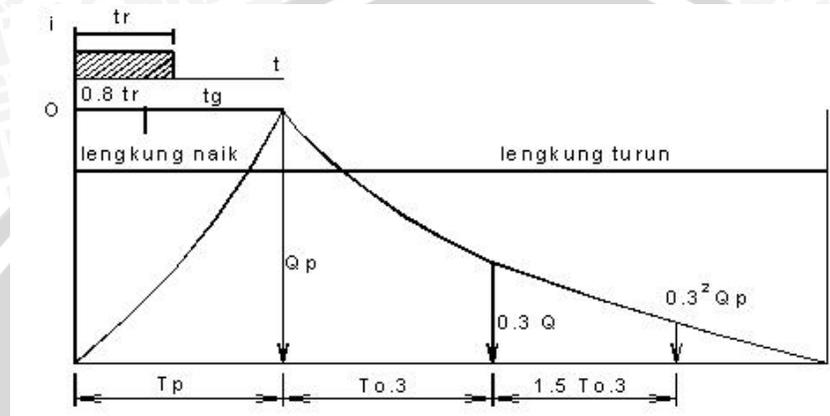
$t_r$  = Satuan waktu hujan (jam)

$\alpha$  = Koefisien karakteristik hidrograf, untuk

$\alpha = 2$   $\Rightarrow$  Pada daerah pengaliran biasa

$\alpha = 1.5$   $\Rightarrow$  Pada bagian naik hidrograf lambat, dan turun cepat

$\alpha = 3$   $\Rightarrow$  Pada bagian naik hidrograf cepat, turun lambat



Gambar 2.5 Hidrograf Satuan Sintetik Metode Nakayasu  
Sumber : Soemarto, CD, 1987 : 168

1. Pada waktu naik :  $0 < t \leq T_p$

$$Q(t) = \left( \frac{t}{T_p} \right)^{2.4} \cdot Q_p \tag{2-21}$$

Dengan :

$Q(t)$  = Debit pada jam ke  $t$  ( $m^3/detik$ )

$t$  = Waktu (jam)

2. Pada kurva turun (*decreasing limb*)

- a. Selang nilai :  $T_p \leq t \leq (T_p + T_{0.3})$

$$Q(t) = Q_p \cdot 0.3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0.3}}} \tag{2-22}$$

- b. Selang nilai:  $(T_p + T_{0.3}) \leq t \leq (T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3})$

$$Q(t) = Q_p \cdot 0.3^{\frac{(t-T_p+0.5T_{0.3})}{1.5 \cdot T_{0.3}}} \tag{2-23}$$

- c. Selang nilai :  $t > (T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3})$

$$Q(t) = Q_p \cdot 0.3^{\frac{(t-T_p+1.5T_{0.3})}{2.0 \cdot T_{0.3}}} \tag{2-24}$$

Rumus tersebut diatas merupakan rumus empiris, maka penerapannya terhadap suatu daerah aliran sungai harus didahului dengan suatu pemilihan parameter-parameter yang sesuai yaitu  $T_p$ ,  $\alpha$  dan pola distribusi hujan agar didapatkan suatu pola hidrograf yang sesuai dengan hidrograf banjir yang diamati.

### 2.3. Analisa hidrolika

#### 2.3.1. Analisa Profil Aliran

Elevasi muka air pada alur sungai perlu dianalisis untuk mengetahui pada bagian manakah terjadi luapan pada alur sungai, sehingga dapat ditentukan dimensi untuk perbaikan sungai. Dalam menganalisis kondisi sungai tersebut dapat digunakan program HEC-RAS 4.1 yang dikeluarkan oleh *U.S. Army Corps of Engineers*. Program HEC-RAS sendiri dikembangkan oleh *The Hydrologic Engineer Centre (HEC)*, yang merupakan bagian dari oleh *U.S. Army Corps of Engineers*.

Program HEC-RAS 4.1 menggunakan pengaturan data dimana dengan data geometri yang sama bisa dilakukan kalkulasi data aliran yang berbeda-beda, begitu juga dengan sebaliknya. Data geometri terdiri dari layout permodelan disertai *cross section* untuk saluran-saluran yang dijadikan model. Data aliran ditempatkan terpisah dari data geometri. Data aliran bisa dipakai salah satu antara data aliran tunak (*steady*) atau data aliran tak tunak (*unsteady*). Dalam masing-masing data aliran tersebut harus terdapat *boundary condition* dan *initial condition* yang sesuai agar permodelan dapat dijalankan. Selanjutnya bisa dilakukan kalkulasi dengan membuat skenario simulasi. Skenario simulasi harus terdiri dari satu data geometri dan satu data aliran.

Pada software HEC-RAS ini, dapat ditelusuri kondisi air sungai dalam pengaruh hidrologi dan hidroliknya, serta penanganan sungai lebih lanjut sesuai kebutuhan. Dari hasil analisa tersebut dapat diketahui ketinggian muka air dan limpasan apabila kapasitas tampungan sungai tidak mencukupi.

Pada beberapa lokasi di sungai atau saluran ada bangunan air seperti pilar jembatan, gorong-gorong, bendung dll. Kita sudah mengetahui bahwa aliran sungai di sekitar bangunan air mengalami perubahan dari aliran seragam, aliran berubah cepat dan aliran berubah perlahan dengan perubahan aliran tergantung dari kondisi sungai tersebut. Artinya bisa aliran dari seragam ke aliran berubah cepat, dari aliran berubah perlahan ke aliran berubah cepat, dari aliran berubah cepat ke aliran seragam atau aliran berubah perlahan yang kesemuanya ini tergantung dari situasi dan kondisi aliran sungai atau saluran yang ditinjau.

**2.3.2. Aliran Tidak Tetap (*Unsteady Flow*) pada Saluran Terbuka**

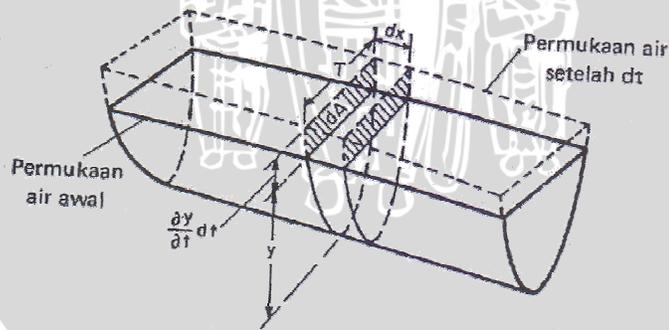
Aliran tidak tetap digolongkan kedalam dua jenis, yakni aliran tidak tetap berubah lambat laun (*gradually varied unsteady flow*) dan berubah tiba-tiba (*rapidly varied unsteady flow*). Pada jenis yang pertama kurva yang menggambarkan profil gelombang translator (gelombang gravitasi yang merambat pada saluran terbuka dan menyebabkan gerak butir-butir air sejajar arah aliran, sepanjang jarak tertentu), besarnya menengah dan perubahan kedalaman berlangsung secara perlahan-lahan. Sedangkan pada jenis yang kedua, kurva yang menggambarkan profil gelombang sangat besar dan pada permukaan profilnya benar-benar diskontinyu.

Persamaan kontinuitas aliran tidak tetap dapat disusun berdasarkan konservasi massa pada suatu ruang kecil diantara dua buah penampang pada saluran. Berikut persamaan kontinuitas untuk aliran tidak tetap (*unsteady flow*),

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right) dx dt + T dx \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right) dt = \left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right) dx dt + dx \left(\frac{\partial A}{\partial t}\right) dt = 0 \quad (2-25)$$

dimana :

- $\frac{\partial Q}{\partial x}$  = perubahan debit terhadap jarak ( $m^3/dt$ )
- $\frac{\partial y}{\partial t}$  = perubahan kedalaman terhadap waktu (m)
- dt = perubahan debit yang melalui ruang dalam waktu
- T dx = perubahan simpanan saluran pada ruang dalam waktu



Gambar 2.6 Kontinuitas aliran tidak tetap  
 Sumber : Chow, 1997 : 471

**2.3.3. Persamaan Dinamik Aliran Tidak Tetap (*Unsteady Flow*)**

Untuk penyederhanaannya, aliran tidak tetap diperlakukan sebagai dua dimensi ditambah dengan pemakaian variabel unsur waktu. Variabel waktu ini digunakan dalam perhitungan variasi kecepatan aliran dan percepatan yang terjadi. Sehingga percepatan

tersebut menghasilkan gaya dan menyebabkan pertambahan kehilangan energi pada aliran. Berikut gambaran sederhana mengenai energi pada aliran tidak tetap.



Gambar 2.7 Garis energi pada aliran tidak tetap  
 Sumber : Chow, 1997 : 473

Perubahan tinggi energi keseluruhan pada unsur panjang  $dx$  dapat dilakukan persis pada aliran tetap, kecuali adanya penambahan kehilangan energi yang disebabkan oleh percepatan. Kehilangan energi keseluruhan terdiri dari dua bagian, yaitu kehilangan energi yang disebabkan oleh gesekan  $h_f$  dan kehilangan energi yang disebabkan oleh percepatan  $h_a$ . Garis yang menunjukkan kehilangan energi kecepatan dinamakan garis percepatan dengan kemiringan  $S_a$ .

Persamaan dinamik untuk aliran tidak tetap (*unsteady flow*) sebagai berikut,

$$z + y + \frac{\alpha V^2}{2g} = z + dz + y + dy + \frac{\alpha V^2}{2g} + d\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right) + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} dx + S_f dx \quad (2-26)$$

Bila disederhanakan diperoleh,

$$d\left(z + y + \frac{\alpha V^2}{2g}\right) = -S_f dx - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} dx \quad (2-27)$$

dimana :

$z$  = ketinggian air dari bidang persamaan (m)

$y$  = kedalaman air (m)

$\alpha$  = koefisien coriolis

$V$  = kecepatan rerata (m/dt)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m^3/dt$ )

$S_f$  = kemiringan garis energi

$dx$  = unsur perubahan panjang

$\partial t$  = unsur perubahan waktu

#### 2.3.4. Kehilangan Tinggi Energi

Kehilangan tinggi energi pada penampang sungai diakibatkan oleh gesekan dan perubahan penampang. Kehilangan akibat gesekan dievaluasi sebagai hasil dari kemiringan garis energi  $S_f$  dan panjang  $L$ , seperti terlihat pada persamaan berikut :

$$h_f = S_f L \quad (2-28)$$

$$S_f = \left( \frac{Q}{K} \right)^2 \quad (2-29)$$

$$S_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} \quad (2-30)$$

dengan :

$h_f$  = kehilangan energi akibat gesekan (m)

$L$  = panjang / jarak antar sub bagian (m)

$S_f$  = kemiringan garis energi (*friction slope*)

$K$  = pengangkutan aliran tiap sub bagian

$Q$  = debit ( $m^3/dt$ )

Adapun kehilangan tinggi energi akibat perubahan diakibatkan oleh dua kejadian, yaitu kontraksi dan ekspansi. Kontraksi dan ekspansi terjadi akibat *backwater* yang disebabkan perubahan penampang atau perubahan kemiringan dasar saluran yang sangat curam sekali. Kehilangan tinggi energi akibat kontraksi dan ekspansi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$h_e = C \left| \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} \right| \quad (2-31)$$

dengan :

$C$  = koefisien akibat kehilangan tinggi kontraksi dan ekspansi

Program ini mengasumsikan bahwa kontraksi dan ekspansi (kehilangan energi akibat pelebaran sungai) terjadi jika kecepatan di hilir lebih tinggi jika dibandingkan dengan kondisi di hulu.

Tabel 2.6 Koefisien kontraksi dan ekspansi untuk aliran subkritis

| Kondisi                            | Kontraksi | Ekspansi |
|------------------------------------|-----------|----------|
| <i>No Transition Loss Computed</i> | 0.0       | 0.0      |
| <i>Gradual Transitions</i>         | 0.1       | 0.3      |
| <i>Typical Bridge Section</i>      | 0.2       | 0.5      |
| <i>Abrupt Transitions</i>          | 0.3       | 0.8      |

Sumber: Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1, 2010 : 21

### 2.3.5. Pengangkutan Aliran

Penentuan pengangkutan aliran total dan koefisien kecepatan untuk suatu penampang melintang mengharuskan aliran dibagi menjadi bagian-bagian dimana kecepatan tersebut akan didistribusikan secara merata. Pendekatan yang digunakan dalam program ini adalah membagi aliran di daerah pinggir sungai dengan menggunakan nilai kekasaran  $n$  sebagai dasar pembagian penampang melintang.

Pengangkutan aliran  $K_j$  dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$K_j = \frac{1,49}{n_j} \cdot A_j \cdot R_j^{2/3} \text{ (dalam satuan Inggris)} \tag{2-32}$$

$$K_j = \frac{1}{n_j} \cdot A_j \cdot R_j^{2/3} \text{ (dalam satuan Metrik)} \tag{2-33}$$

- Dengan :  $K_j$  : pengangkutan tiap bagian
- $n$  : koefisien kekasaran manning tiap bagian
- $A_j$  : daerah aliran tiap bagian
- $R_j$  : jari-jari hidrolis tiap bagian

Dalam program ini penambahan pengangkutan di daerah pinggir sungai akan dijumlahkan untuk mendapatkan pengangkutan di bagian samping kanan dan kiri sungai. Pengangkutan dibagian utama saluran dihitung sebagai elemen pengangkutan tunggal, sedangkan pengangkutan total pada penampang melintang didapatkan dengan menjumlahkan pengangkutan di tiga bagian (kiri, tengah, dan kanan).

$$K_t = \sum_{j=1}^n K_j \tag{2-34}$$

- dengan :
- $n$  = jumlah sub bagian pada suatu penampang melintang sungai

### 2.3.6. Koefisien Kekasaran

Suatu sungai memiliki nilai kekasaran yang sangat bervariasi dan tergantung pada beberapa faktor sehingga perlu adanya tinjauan terhadap faktor-faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap nilai koefisien kekasaran

Tabel 2.7 Koefisien Manning's

| Type of Channel and Description                                                                             | Minimum | Normal | Maximum |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|---------|
| <b>A. Natural Streams</b>                                                                                   |         |        |         |
| 1. Main Channels                                                                                            |         |        |         |
| a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools                                                            | 0.025   | 0.03   | 0.033   |
| b. Same as above, but more stones and weeds                                                                 | 0.03    | 0.035  | 0.04    |
| c. Clean, winding, some pools and shoals                                                                    | 0.033   | 0.04   | 0.045   |
| d. Same as above, but some weeds and stones                                                                 | 0.035   | 0.045  | 0.05    |
| e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections                                        | 0.04    | 0.048  | 0.055   |
| f. Same as "d" but more stones                                                                              | 0.045   | 0.05   | 0.06    |
| g. Sluggish reaches, weedy. deep pools                                                                      | 0.05    | 0.07   | 0.08    |
| h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush                       | 0.07    | 0.1    | 0.15    |
| 2. Flood Plains                                                                                             |         |        |         |
| a. Pasture no brush                                                                                         |         |        |         |
| 1. Short grass                                                                                              | 0.025   | 0.03   | 0.035   |
| 2. High grass                                                                                               | 0.03    | 0.035  | 0.05    |
| b. Cultivated areas                                                                                         |         |        |         |
| 1. No crop                                                                                                  | 0.02    | 0.03   | 0.04    |
| 2. Mature row crops                                                                                         | 0.025   | 0.035  | 0.045   |
| 3. Mature field crops                                                                                       | 0.03    | 0.04   | 0.05    |
| c. Brush                                                                                                    |         |        |         |
| 1. Scattered brush, heavy weeds                                                                             | 0.035   | 0.05   | 0.07    |
| 2. Light brush and trees, in winter                                                                         | 0.035   | 0.05   | 0.06    |
| 3. Light brush and trees, in summer                                                                         | 0.04    | 0.06   | 0.08    |
| 4. Medium to dense brush, in winter                                                                         | 0.045   | 0.07   | 0.11    |
| 5. Medium to dense brush, in summer                                                                         | 0.07    | 0.1    | 0.16    |
| d. Trees                                                                                                    |         |        |         |
| 1. Cleared land with tree stumps, no sprouts                                                                | 0.03    | 0.04   | 0.05    |
| 2. Same as above, but heavy sprouts                                                                         | 0.05    | 0.06   | 0.08    |
| 3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches                           | 0.08    | 0.1    | 0.12    |
| 4. Same as above, but with flow into branches                                                               | 0.1     | 0.12   | 0.16    |
| 5. Dense willows, summer, straight                                                                          | 0.11    | 0.15   | 0.2     |
| 3. Mountain Streams, no vegetation in channel, banks usually steep, with trees and brush on banks submerged |         |        |         |
| a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders                                                               | 0.03    | 0.04   | 0.05    |
| b. Bottom: cobbles with large boulders                                                                      | 0.04    | 0.05   | 0.07    |

Lanjutan Tabel 2.7 Koefisien Manning's

| Type of Channel and Description                  | Minimum | Normal | Maximum |
|--------------------------------------------------|---------|--------|---------|
| <b>B. Lined or Built-Up Channels</b>             |         |        |         |
| 1. Concrete                                      |         |        |         |
| a. Trowel finish                                 | 0.011   | 0.013  | 0.015   |
| b. Float Finish                                  | 0.013   | 0.015  | 0.016   |
| c. Finished, with gravel bottom                  | 0.015   | 0.017  | 0.02    |
| d. Unfinished                                    | 0.014   | 0.017  | 0.02    |
| e. Gunite, good section                          | 0.016   | 0.019  | 0.023   |
| f. Gunite, wavy section                          | 0.018   | 0.022  | 0.025   |
| g. On good excavated rock                        | 0.017   | 0.02   |         |
| h. On irregular excavated rock                   | 0.022   | 0.027  |         |
| 2. Concrete bottom float finished with sides of: |         |        |         |
| a. Dressed stone in mortar                       | 0.015   | 0.017  | 0.02    |
| b. Random stone in mortar                        | 0.017   | 0.02   | 0.024   |
| c. Cement rubble masonry, plastered              | 0.016   | 0.02   | 0.024   |
| d. Cement rubble masonry                         | 0.02    | 0.025  | 0.03    |
| e. Dry rubble on riprap                          | 0.02    | 0.03   | 0.035   |
| 3. Gravel bottom with sides of:                  |         |        |         |
| a. Formed concrete                               | 0.017   | 0.02   | 0.025   |
| b. Random stone in mortar                        | 0.02    | 0.023  | 0.026   |
| c. Dry rubble or riprap                          | 0.023   | 0.033  | 0.036   |
| 4. Brick                                         |         |        |         |
| a. Glazed                                        | 0.011   | 0.013  | 0.015   |
| b. In cement mortar                              | 0.012   | 0.015  | 0.018   |
| 5. Metal                                         |         |        |         |
| a. Smooth steel surfaces                         | 0.011   | 0.012  | 0.014   |
| b. Corrugated metal                              | 0.021   | 0.025  | 0.03    |
| 6. Asphalt                                       |         |        |         |
| a. Smooth                                        | 0.013   | 0.013  |         |
| b. Rough                                         | 0.016   | 0.016  |         |
| 7. Vegetal lining                                | 0.03    |        | 0.5     |

Lanjutan Tabel 2.7 Koefisien Manning's

| Type of Channel and Description                   | Minimum | Normal | Maximum |
|---------------------------------------------------|---------|--------|---------|
| <b>C. Excavated or Dredged Channels</b>           |         |        |         |
| 1. Earth, straight and uniform                    |         |        |         |
| a. Clean, recently completed                      | 0.016   | 0.018  | 0.02    |
| b. Clean, after weathering                        | 0.018   | 0.022  | 0.025   |
| c. Gravel, uniform section, clean                 | 0.022   | 0.025  | 0.03    |
| d. With short grass, few weeds                    | 0.022   | 0.027  | 0.033   |
| 2. Earth, winding and sluggish                    |         |        |         |
| a. No vegetation                                  | 0.023   | 0.025  | 0.03    |
| b. Grass, some weeds                              | 0.025   | 0.03   | 0.033   |
| c. Dense weeds or aquatic plants in deep channels | 0.03    | 0.035  | 0.04    |
| d. Earth bottom and rubble side                   | 0.028   | 0.03   | 0.035   |
| e. Stony bottom and weedy banks                   | 0.025   | 0.035  | 0.04    |
| f. Cobble bottom and clean sides                  | 0.03    | 0.04   | 0.05    |
| 3. Dragline-excavated or dredged                  |         |        |         |
| a. No vegetation                                  | 0.025   | 0.028  | 0.033   |
| b. Light brush on banks                           | 0.035   | 0.05   | 0.06    |
| 4. Rock cuts                                      |         |        |         |
| a. Smooth and uniform                             | 0.025   | 0.035  | 0.04    |
| b. Jagged and irregular                           | 0.035   | 0.04   | 0.05    |
| 5. Channels not maintained, weeds and brush       |         |        |         |
| a. Clean bottom, brush on sides                   | 0.04    | 0.05   | 0.08    |
| b. Same as above, highest stage of flow           | 0.045   | 0.07   | 0.11    |
| c. Dense weeds, high as flow depth                | 0.05    | 0.08   | 0.12    |
| d. Dense brush, high stage                        | 0.08    | 0.1    | 0.14    |

Sumber: Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1, 2010 : 13

### 2.3.7. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Kondisi batas diperlukan untuk menentukan permukaan air mula-mula pada bagian akhir sistem sungai (hulu dan hilir). Pada aliran sub kritis, kondisi batas hanya diutamakan pada akhir skema sungai bagian hilir. Pada aliran superkritis, kondisi batas hanya diutamakan pada akhir skema sungai bagian hilir. Jika perpaduan antara aliran sub kritis dan super kritis, maka kondisi batas yang harus dimasukkan adalah kedua batas pada skema sistem sungai tersebut (hulu dan hilir).

Ada beberapa tipe syarat kondisi batas (*boundary condition*) yang tersedia pada kondisi aliran tidak tetap :

#### 1. *Stage Hydrograph*

*Stage Hydrograph* dapat digunakan sebagai syarat batas hulu maupun hilir.

Data yang dimasukkan berupa data tinggi muka air dan waktu.

2. *Flow Hydrograph*

*Flow Hydrograph* dapat digunakan sebagai syarat batas hulu maupun hilir. Namun biasanya digunakan sebagai syarat batas hulu. Data yang dimasukkan berupa debit dan waktu.

3. *Stage and Flow Hydrograph*

*Stage and Flow Hydrograph* digunakan bersama-sama pada syarat batas hulu maupun hilir. Pada syarat batas hulu *Stage and Flow Hydrograph* digunakan secara kombinasi. Pada awalnya *Stage Hydrograph* sebagai syarat batas hulu, namun pada saat perhitungan keluar dari cakupan data, maka secara otomatis syarat batas akan berubah ke *Flow Hydrograph*.

4. *Lateral Inflow Hydrograph*

*Lateral Inflow Hydrograph* sebagai syarat batas internal. *Lateral Inflow* digunakan jika pengguna ingin memasukkan *Flow Hydrograph* diantara dua potongan melintang dan didistribusikan secara merata sepanjang aliran.

5. *Rating Curves*

*Rating Curves* digunakan untuk syarat hilir. Ketika kondisi batas tipe ini dipilih, sebuah menu window akan muncul dan pengguna memasukkan nilai elevasi dengan *flow rating curve*.

6. *Normal depth*

*Normal depth* hanya dapat digunakan sebagai syarat batas pada saluran yang mempunyai hilir terbuka. Untuk kondisi batas tipe ini, perlu memasukkan nilai kemiringan energi yang akan digunakan dalam perhitungan kedalaman normal (menggunakan rumus manning) pada lokasi tersebut. Pada umumnya, kemiringan energi dapat diperkirakan dengan menggunakan kemiringan rerata pada saluran atau pada permukaan air pada jarak interval penampang melintangnya.

7. *Ground Water Inflow*

Pilihan ini memungkinkan pengguna dapat mengidentifikasi saluran yang debitnya dapat dipengaruhi oleh air bawah tanah.

8. *Time Series of Gate Openings*

Pilihan ini memungkinkan pengguna dapat memperhitungkan bukaan pintu yang dioperasikan secara berkala pada pintu pelimpah, baik melintang maupun latera, atau pintu pelimpah yang menggunakan dua kolam retensi.

#### 9. *Elevation Controlled Gate*

Pilihan ini memungkinkan pengguna dapat memperhitungkan bukaan dan penutupan pintu air yang dipengaruhi oleh ketinggian air.

#### 10. *Navigation Dam*

Untuk menggambarkan pintu air sebagai control pada pengoperasian *Navigation Dam*.

#### 11. *Internal Observed Stage and Flow Hydrograph*

Pilihan ini memungkinkan pengguna memasukkan hasil pengamatan *Stage and Flow Hydrograph* sebagai syarat batas internal pada titik di dekat hulu (*just upstream*) struktur melintang.

Bila elevasi muka air pada kondisi batas tidak diketahui, namun perlu memasukkan nilai tersebut untuk memulai menghitung, maka nilai elevasi muka air estimasi harus dimasukkan atau memilih kedalaman normal atau kritis.

### 2.3.8. Analisa Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi.

Pada suatu sungai yang bermuara pada laut tidak akan pernah lepas dari pengaruh pasang surut air laut. Pasang surut sangat mempengaruhi kondisi pengaliran air sungai di muara. Pada saat air surut, maka air sungai dapat mengalir ke laut, tetapi pada saat pasang maka akan terjadi pembendungan.

Dimana keadaan ini akan mengakibatkan efek *backwater* (aliran balik) pada sungai tersebut sehingga akan menaikkan elevasi muka air di bagian hulunya. Kondisi ini akan menyebabkan terhalangnya aliran air, sehingga menyebabkan genangan pada alur sungai.

## 2.4. Sistem Pengendalian Banjir

### 2.4.1. Umum

Banjir merupakan suatu peristiwa meluapnya air dari badan sungai yang diakibatkan oleh kelebihan limpasan sehingga sungai tidak dapat lagi menampung seluruh air yang datang. Pengurangan kerugian akibat banjir dapat dilakukan jika penyebab banjir telah diketahui. Beberapa penyebab banjir antara lain dapat berupa :

- a. Intensitas curah hujan yang tinggi, sehingga kapasitas sungai tidak mampu lagi menampung debit dari air hujan tersebut.

- b. Adanya pertemuan anak-anak sungai dengan sungai utama.
- c. Morfologi sungai yang berkelok-kelok mengakibatkan air sungai tidak dapat segera mengalir ke hilir.
- d. Lokasi daerah aliran sungai yang terletak di daerah cekungan.
- e. Faktor kerusakan lingkungan, misalnya penggundulan hutan di daerah hulu, yang berfungsi sebagai daerah resapan air.

Upaya pengendalian banjir (*flood control*) untuk mengurangi pengaruh air yang berlebihan pada sungai tersebut dapat dilakukan dengan beberapa metode di bawah ini :

- a. Pengurangan puncak banjir dengan waduk (*retarding basin*).
- b. Pengurangan aliran dalam suatu alur yang ditetapkan dengan tanggul, dinding penahan (*parafet*) banjir, atau suatu aliran tertutup.
- c. Penurunan muka air banjir dengan perbaikan alur sungai.
- d. Pengaliran air banjir melalui saluran banjir (*floodway*) ke dalam alur sungai lain atau bahkan DAS lain.

Namun, untuk menentukan suatu metode yang sesuai untuk suatu jenis pengendalian banjir harus disesuaikan dengan lokasi dan sifat dari banjir yang terjadi. Sebagaimana halnya dengan 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 (Sosrodarsono, 1985 : 384). Agar penanggulangan banjir dapat dilaksanakan secara efektif maka penyebab banjir dan kondisi di sepanjang sungai harus dipelajari dengan seksama supaya metode yang diterapkan sesuai.

#### **2.4.2. Perbaikan atau Normalisasi Alur Sungai**

Perencanaan perbaikan alur sungai adalah untuk menetapkan beberapa karakteristik alur sungai yaitu formasi trase alur sungai, formasi penampang sungai (lebar rencana sungai, bentuk rencana penampang sungai), kemiringan memanjang sungai dan rencana penempatan bangunan-bangunan sungai (Sosrodarsono, 1985 : 328).

- a. Debit banjir rencana

Debit banjir ( $Q_0$ ) dapat dihitung menggunakan beberapa metode yang ada, seperti menggunakan Hidrograf Satuan Sintesis dan *Flood Routing*. Selanjutnya untuk memperoleh debit banjir rencana ( $Q_p$ ), maka debit banjir hasil perhitungan ditambahkan dengan kandungan sedimen yang terdapat dalam aliran sebesar 10%, sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

$$Q_p = 1,1 Q_0 \quad (2-36)$$

Dalam perhitungan tersebut, kecepatan aliran banjir dianggap konstan, walaupun konsentrasi sedimennya tinggi.

b. Bentuk penampang sungai

Dimensi penampang melintang didasarkan atas besarnya debit banjir maksimum yang direncanakan. Bentuk penampang sungai yang dipakai adalah penampang berbentuk trapesium, karena mudah dalam pelaksanaannya juga akan memberikan efisien yang cukup tinggi dalam mengalirkan debit.

c. Lebar rencana sungai

Seandainya lebar sungai diperkecil, maka akan lebih besar kemungkinan terjadinya limpasan atau jebolnya tanggul, karena daya tampung sungai akan berkurang. Guna lebih memudahkan penentuan lebar rencananya, biasanya lebar sungai dinyatakan sebagai fungsi dari debit sungai.

d. Kemiringan memanjang

Sebaiknya kemiringan dasar sungai di daerah kipas pengendapan tidak perlu dirubah. Kalaupun harus diadakan perubahan seyogyanya tidak dilaksanakan secara drastis, tetapi sedikit demi sedikit (Sosrodarsono, 1985 : 332).

### 2.4.3. Tanggul

Tanggul disepanjang sungai adalah salah satu bangunan yang paling utama dan yang paling penting dalam usaha melindungi kehidupan dan harta benda masyarakat terhadap genangan-genangan yang disebabkan oleh banjir dan badai. Tanggul dibangun terutama dengan konstuksi urugan tanah, karena tanggul merupakan bangunan menerus yang sangat panjang serta membutuhkan bahan urugan yang volumenya sangat besar. Selain tanah, maka akan sangat sukar untuk memperoleh bahan urugan untuk pembuatan tanggul. Tanah dapat diperoleh dari hasil galian dikanan kiri trase tanggul atau bahkan dapat diperoleh dari hasil pekerjaan normalisasi sungai berupa galian pelebaran alur sungai yang biasanya dilaksanakan bersamaan dengan pembangunan tanggul (Sosrodarsono, 1985:83).

Tanggul merupakan bangunan yang berada diantara aliran sungai yang bertujuan untuk menahan aliran air sungai agar tidak menuju ke wilayah permukiman ataupun lahan yang tidak memerlukan pengaliran air sungai. Dalam hal ini tanggul berfungsi

menjaga keberadaan lingkungan dari ancaman limpasan air sungai yang melebihi aliran normal.

Bahan urugan untuk tanggul haruslah merupakan bahan yang sangat mudah penggarapannya dan setelah menjadi tanggul mudah untuk menyesuaikan diri dengan kemungkinan penurunan yang tidak rata. Oleh karena itu, biasanya tanggul dibuat dari bahan tanah. Tanah merupakan bahan bangunan yang sangat stabil dan tidak akan rusak dalam waktu yang lama.

Apabila di beberapa tempat terjadi kerusakan tanggul, perbaikannya sangat mudah dan cepat menggunakan tanah yang tersedia di sekitar lokasi kerusakan. Adapun kriteria-kriteria tanggul yang harus dipenuhi :

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

#### **2.4.3.1. Trase tempat kedudukan tanggul**

Garis bahu depan suatu tanggul disebut sebagai trase tempat kedudukan tanggul atau disingkat dengan istilah trase tanggul. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penetapan tanggul (Sosrodarsono, 1985 : 85) :

1. Lokasi trase tanggul

Supaya dipilih agar tempat kedudukan tanggul melintas tanah pondasi yang kedap air, diusahakan agar dihindarkan pondasi tanah yang lemah, seperti rawa-rawa, lumpur lunak dan gambut.

2. Arah trase tanggul

Dalam menentukan arah trase tanggul agar diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a. Supaya dipilih suatu penampang basah sungai yang paling efektif dengan kapasitas penaliran maksimum
- b. Agar trase tanggul searah dengan arah arus sungai dan dihindarkan terjadinya belokan yang tajam
- c. Diusahakan agar arah trase tanggul kiri dan tanggul kanan separalel mungkin dengan alur sungai, dihindarkan adanya perubahan lebar sunngai yang mendadak. Diusahakan agar bantaran cukup lebar, sehingga jarak antara tepi alur sungai dan kaki tanggul cukup jauh.

d. Pada sungai-sungai yang arusnya tidak deras, diusahakan agar kurva alirannya stabil.

### 3. Jarak antar trase tanggul sungai

Jarak antara trase tanggul dianggap sebagai jarak antara kedua tanggul yang membujur kekanan dan kekiri sungai yang ditetapkan berdasarkan debit banjir rencana, kemiringannya, tinggi muka air pada banjir yang pernah terjadi, arah serta kecepatan arus sungai dan jika mungkin tambahan persediaan lebar seperlunya.

#### 2.4.3.2. Bentuk penampang lintang tanggul

##### a. 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 di bawah ini memperlihatkan standar hubungan antara besarnya debit banjir rencana dengan tinggi jagaan yang disarankan.

Tabel 2.8 Hubungan antara debit banjir rencana dengan tinggi jagaan

| No | Debit Banjir Rancangan<br>(m <sup>3</sup> /dt) | Tinggi Jagaan<br>(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, 1985 : 87

##### b. Lebar mercu tanggul

Pada daerah yang padat dimana perolehan areal tanah untuk tempat kedudukan tanggul sukar untuk didapatkan sangat sukar dan 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 di waktu banjir dan sebagai jalan-jalan inspeksi serta logistik untuk pemeliharaan tanggul. Berikut merupakan lebar standar mercu tanggul berdasarkan debit banjir rencana.

Tabel 2.9 Lebar standar mercu tanggul

| No | Debit Banjir Rancangan<br>(m <sup>3</sup> /dt) | Lebar Mercu<br>(m) |
|----|------------------------------------------------|--------------------|
| 1  | Kurang dari 500                                | 3                  |
| 2  | 500 - 2000                                     | 4                  |
| 3  | 2000 - 5000                                    | 5                  |
| 4  | 5000 - 10000                                   | 6                  |
| 5  | 10000 atau lebih                               | 7                  |

Sumber : Sosrodarsono, 1985 : 88

c. Kemiringan lereng tanggul

Dalam keadaan biasa tanpa perkuatan lereng, tanggul direncanakan dengan kemiringan 1 : 2 atau lebih kecil. 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 air tinggi dan pondasi *subsoil* dari pada tanggul tersebut. Hal tersebut dapat ditunjukkan sebagai berikut :

- Berm harus disediakan tiap 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.
- Lebar 3 m atau lebih. Miring talud tanggul harus merupakan kemiringan landai bandingan 1: 2 atau lebih, namun hal itu tidak perlu bila talud permukaan dilapisi dengan beton atau bahan serupa.

d. Bahan tanah urugan tanggul

Bahan utama untuk pembangunan 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 dalamnya cukup tinggi, pekat dan angka porinya rendah. Memperhatikan hal-hal tersebut diatas.

Bahan yang cocok untuk pembangunan tanggul adalah tanah dengan karakteristik sebagai berikut :

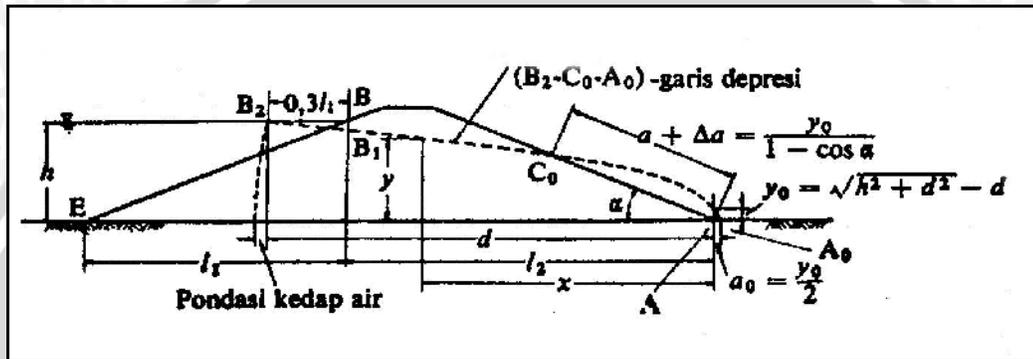
1. Dalam keadaan jenuh air mampu bertahan terhadap gejala ggelincir dan longsor.
2. Pada waktu banjir yang lama tidak rembes atau bocor.
3. Penggalian, tarnsportasi dan pematatannya mudah

4. Tidak terjadi retak-retak yang membahayakan kestabilan tubuh tanggul.
5. Bebas dari bahan organis, seperti akar-akaran, pohon-pohonan dan rumput-rumputan.

### 2.4.4. Stabilitas Tanggul

#### 2.4.4.1. Formasi Garis Depresi

Bila terdapat aliran rembesan di dalam tubuh tanggul, maka untuk menganalisa aliran rembesan diperlukan suatu formasi garis depresi dengan menggunakan metode Casagrande. (Sosrodarsono, 1976 :156)



Gambar 2.8 Garis depresi pada bendungan homogen (sesuai dengan garis parabola)

Sumber : Sosrodarsono, 1976:156

Pada gambar tumit hilir lereng dianggap sebagai titik permulaan koordinat dengan sumbu-sumbu x dan y, maka garis depresi diperoleh dengan persamaan parabola bentuk dasar sebagai berikut :

$$L_1 = m \cdot h \tag{2-37}$$

$$L_2 = l_{total} - L_1 \tag{2-38}$$

$$d = 0,3 L_1 + L_2 \tag{2-39}$$

$$a + \Delta a = \frac{Y_0}{1 - \cos \alpha} \tag{2-40}$$

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2 y_0} \tag{2-41}$$

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2} \tag{2-42}$$

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \tag{2-43}$$

dengan

$m$  = kemiringan lereng

- $h$  = jarak vertikal antara titik A dan B  
 $d$  = jarak horisontal antara titik B<sub>2</sub> dan A  
 $l_1$  = jarak horisontal antara titik B dan E  
 $l_2$  = jarak horisontal antara titik B dan A  
 $A$  = ujung tumit hilir bendungan  
 $B$  = titik perpotongan antara muka air waduk dan lereng udik bendungan  
 $A_1$  = titik perpotongan antara parabola bentuk besar garis depresi dengan garis  
 $B_2$  = vertikal melalui titik B  
 titik yang terletak sejauh 0,3 l, horisontal ke arah udik dari titik B

#### 2.4.4.2. Stabilitas Lereng Tanggul Metode Bishop dengan Program Geoslope

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk pengujian stabilitas lereng, antara lain metode irisan Bishop. Dalam studi ini analisa stabilitas lereng dilakukan dengan metode irisan bidang lurus menurut metode Bishop dengan menggunakan program Geoslope Versi Study. Dalam metode ini menunjukkan kebanyakan peristiwa longsoran tanah terjadi dengan bentuk bidang longsor yang berupa lengkungan. Kesalahan analisis stabilitas lereng tidak banyak disebabkan oleh bentuk anggapan bidang longsor, akan tetapi oleh kesalahan dalam penentuan sifat-sifat tanah dan penentuan lokasi longsor kritis.

Dalam metode ini, permukaan runtuh potensial pada potongan diasumsikan berbentuk busur lingkaran dengan pusat O dan jari-jari r. Massa tanah (ABCD) di atas permukaan runtuh coba-coba (AC) dibagi oleh bidang-bidang vertikal menjadi sejumlah irisan dengan lebar b. Dasar dari setiap irisan diasumsikan sebagai garis lurus. Untuk setiap irisan, sudut yang dibentuk oleh dasar irisan dan sumbu horisontal adalah  $\alpha$  dan tingginya, yang diukur pada garis sumbu adalah h. Faktor keamanan didefinisikan sebagai rasio kekuatan geser yang ada ( $\tau_f$ ) terhadap kekuatan geser ( $\tau_m$ ) yang harus dikerahkan untuk mempertahankan syarat batas keseimbangan, yaitu

$$F = \frac{\tau_f}{\tau_m} \quad (2-44)$$

Gaya (per satuan ukuran yang tegak lurus terhadap potongan) yang bekerja pada irisan adalah :

1. Berat total irisan,  $W = \gamma bh$  ( $\gamma_{sat}$  bila diperlukan).

2. Gaya normal total pada dasar,  $N$  (sama dengan  $\sigma l$ ). Umumnya, gaya ini memiliki dua batas komponen, yaitu gaya normal efektif  $N'$  (sama dengan  $\sigma' l$ ) dan gaya air batas  $U$  (*boundary water force*), (sama dengan  $ul$ ), dimana  $u$  adalah tekanan air pori pada pusat dasar dan  $l$  adalah panjang dasar.
3. Gaya geser pada dasar,  $T = \tau_m l$ .
4. Gaya normal total pada sisi-sisi  $E_1$  dan  $E_2$ .
5. Gaya geser pada sisi-sisi,  $x_1$  dan  $x_2$  Setiap gaya luar harus diperhitungkan dalam analisis.

Dengan meninjau momen terhadap  $O$ , maka jumlah momen akibat gaya-gaya geser  $T$  pada busur keruntuhan  $AC$  harus sama dengan momen akibat berat massa tanah  $ABCD$ . Untuk setiap irisan, lengan momen  $W$  adalah  $r \sin \alpha$ , sehingga

$$\sum Tr = \sum Wr \sin \alpha \tag{2-45}$$

$$\therefore F = \frac{\sum \tau_f l}{\sum W \sin \alpha} \tag{2-46}$$

**Penyelesaian Penyederhanaan menurut Bishop**

Dalam penyelesaian ini diasumsikan bahwa resultan gaya pada sisi irisan adalah horisontal, yaitu

$$x_1 - x_2 = 0 \tag{2-47}$$

untuk keseimbangan gaya geser pada dasar setiap irisan adalah

$$T = \frac{1}{f} (c'l + N' \tan \phi') \tag{2-48}$$

dengan menyelesaikan kembali gaya-gaya dalam arah vertikal :

$$W = N' \cos \alpha + ul \cos \alpha + \frac{c'l}{F} \sin \alpha + \frac{N'}{F} \tan \phi' \sin \alpha \tag{2-49}$$

$$\therefore N' = \left( W - \frac{c'l}{F} \sin \alpha - ul \cos \alpha \right) / \left( \cos \alpha + \frac{\tan \phi' \sin \alpha}{F} \right) \tag{2-50}$$

dengan substitusi  $l = b \cdot \sec \alpha$

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \left[ \left\{ c'b + (W - ub) \tan \phi' \right\} \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi'}{F}} \right] \tag{2-51}$$

Tekanan air pori dapat dihubungkan dengan ‘tekanan pengisian total’ (*total fill pressure*) pada setiap titik dengan menggunakan rasio tekanan pori yang tak berdimensi, yang didefinisikan sebagai

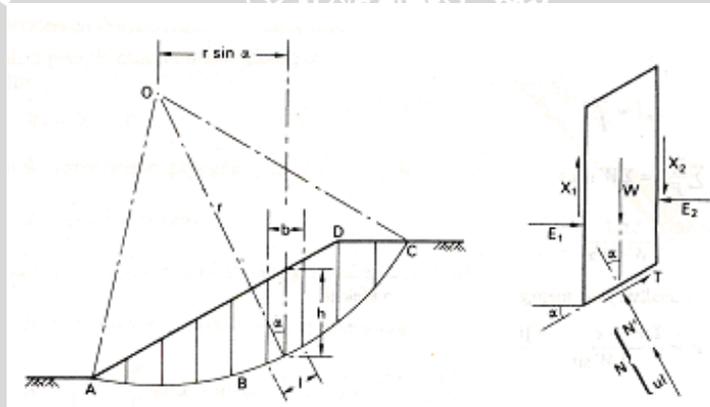
$$r_u = \frac{u}{\gamma h} = \frac{u}{W/b} \tag{2-52}$$

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \left[ \{c'b + W(1 - r_u) \tan \phi'\} \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi'}{F}} \right] \tag{2-53}$$

Diperlukan pemilihan sejumlah permukaan keruntuhan coba-coba yang tepat, maka metode irisan biasanya diselesaikan dengan menggunakan perhitungan geometri lereng yang lebih kompleks dan lapisan tanah yang berbeda akan dapat diselesaikan dengan metode ini.

$$F_s = \frac{\text{gaya\_penahan}}{\text{gaya\_yang\_menggelincirkan}} = \frac{\sum (c_l + W_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \tan \theta)}{\sum W_i \cdot \sin \alpha_i} \tag{2-54}$$

Untuk angka keamanan biasanya digunakan  $F_s > 1,2$  karena jika 1 maka lereng sudah dalam bahaya keruntuhan (Sosrodarsono, 1976 : 35).



Gambar 2.9 Stabilitas lereng tanggul dengan metode Irisan

Sumber : Sosrodarsono, 1976 : 156

#### 2.4.4.3. Menentukan Lokasi Titik Pusat Bidang Longsor

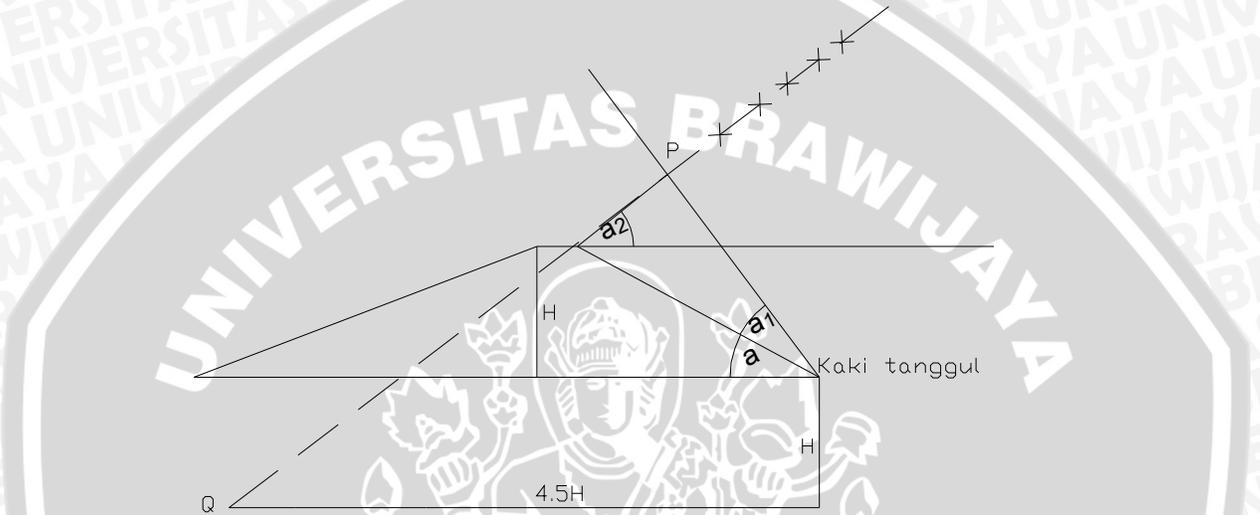
Dengan tujuan mengurangi jumlah coba-coba untuk menentukan letak pusat busur longsor kritis terhadap stabilitas lereng. Fellenius memberikan petunjuk-petunjuk untuk menentukan lokasi titik pusat bidang longornya.

Pada tanah homogen pusat busur longsor terletak pada garis PQ dimana Q diperoleh dari menarik garis sepanjang H kebawah dari kaki tanggul dan 4.5H jarak mendatar seperti pada gambar 2.10 dan 2.11 Titik P ditentukan dengan bantuan dari sudut  $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$ , seperti pada tabel 2.10.

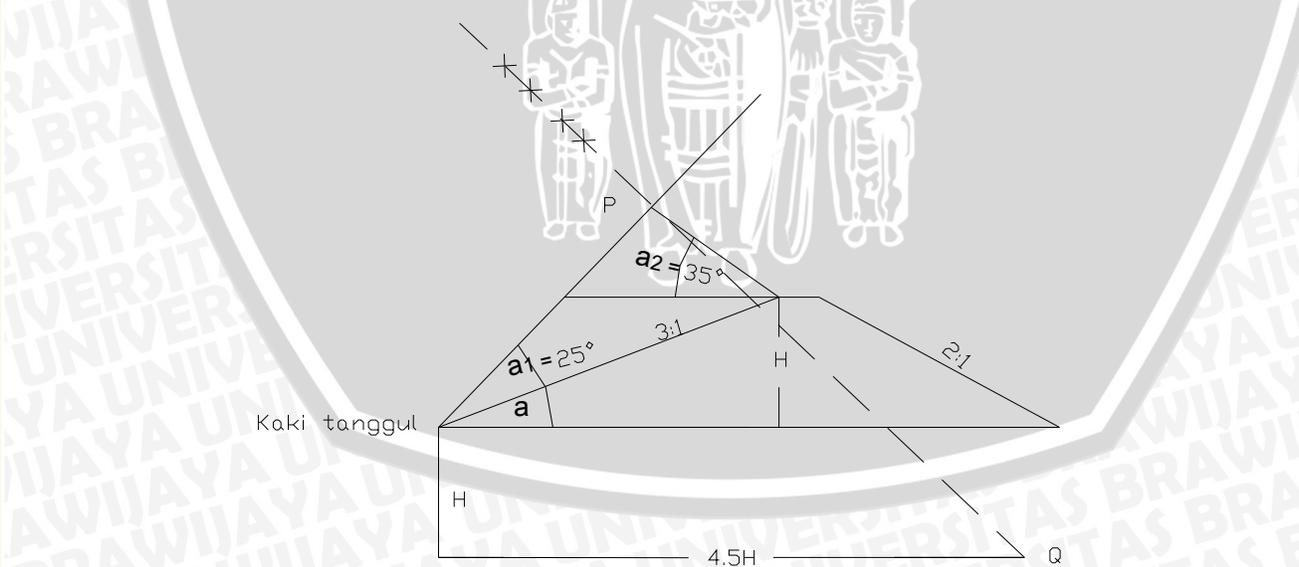
Tabel 2.10 Sudut-sudut petunjuk menurut Fellenius

| Kemiringan | Sudut-sudut petunjuk |            |
|------------|----------------------|------------|
|            | $\alpha_1$           | $\alpha_2$ |
| 1 : 1      | 27.5                 | 37         |
| 1 : 2      | 25                   | 35         |
| 1 : 3      | 25                   | 35         |
| 1 : 4      | 25                   | 35         |
| 1 : 6      | 25                   | 35         |

Sumber : Garg, 1980 : 985



Gambar 2.10 Posisi titik pusat busur longsor kritis metode Fellenius untuk hilir  
 Sumber : Garg, 1980 : 958

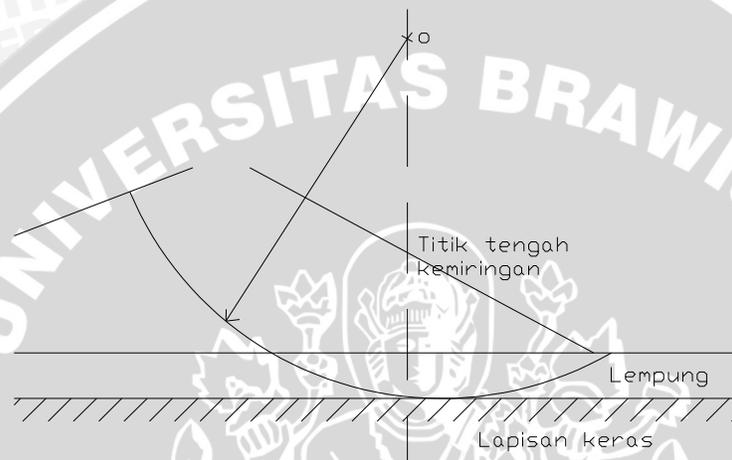


Gambar 2.11 Posisi titik pusat busur longsor kritis metode Fellenius untuk hulu  
 Sumber : Garg, 1980 : 959



Setelah menentukan lokasititik pusat bidang longsornya, titik kritis dapat digambarkan,kecuali pada beberapa keadaan berikut ini :

1. Jika nilai sudut geser kecil, busur lingkaran harus melewati kaki tanggul.
2. Jika lapisan keras berada pada kedalaman dangkal dibawah bendungan, busur lingkaran tidak boleh melewati lapisan keras.
3. Pada saat sudut geser antara  $0-15^\circ$  dan kemiringan lereng kurang dari  $53^\circ$ . Titik kritis akan jatuh pada garis vertikal melalui pusat lereng.



Gambar 2.12. Posisi titik pusat busur longsor kritis pada kuat geser kecil

Sumber : Garg, 1980 : 959

#### 2.4.5. Saluran Banjir

Apabila debit banjir rencana terlalu besar dan tidak dimungkinkan peningkatan kapasitas tampung sungai di atas kapasitasnya yang sudah ada, maka penambahan kapasitasnya dapat dilakukan dengan pembuatan saluran baru langsung ke laut, danau atau sungai lain yang disebut saluran banjir. Saluran banjir adalah saluran baru yang dibuat untuk mengalirkan air secara terpisah dari sungai utamanya. Saluran banjir dapat mengalirkan sebagian atau bahkan seluruh debit banjir.

Saluran banjir ini dibuat dalam berbagai kondisi, tetapi tujuan utamanya biasanya adalah untuk menghindarkan pekerjaan sungai di daerah pemukiman yang padat atau untuk memperpendek salah satu ruas sungai. Biasanya saluran banjir dilengkapi dengan pintu atau bendung untuk membagi debit sesuai dengan rencana. Penelitian yang sangat seksama perlu dilakukan untuk saluran rencana banjir, terutama untuk saluran banjir yang besar, karena saluran banjir ini dapat merubah rezim bagian hilir sungai yang sudah ada dan daerah pantai yang akan menjadi muara banjir kanal.

#### 2.4.6. Sudetan

Pada ruas sungai yang belokan-belokannya sangat tajam atau meandernya sangat kritis, maka tanggul yang akan dibangun biasanya akan menjadi lebih panjang. Selain itu pada ruas sungai yang demikian, gerusan pada belokan luar sangat meningkat dan terjadi kerusakan tebing sungai yang akhirnya mengancam kaki tanggul. Sebaliknya pada belokan dalamnya terjadi pengendapan yang intensif pula.

Jadi alur sungai menjadi lebih panjang dan dapat mengganggu kelancaran aliran banjir. Guna mengurangi keadaan yang kurang menguntungkan, maka pada ruas sungai tersebut perlu dipertimbangkan pembuatan alur baru, agar alur sungai mendekati garis lurus dan lebih pendek.

Saluran baru semacam ini disebut dengan sudetan. Sudetan ini akan menurunkan muka air sebelah hulunya tetapi muka air di sebelah hilirnya biasanya naik sedikit. Dengan demikian dasar sungai di sebelah hulu sudetan tergerus dan pengendapan terjadi di dasar sungai di sebelah hilirnya.

Dengan meningkatnya gaya tarik (*tractive force*) arus sungai pada sudetan, maka tebing sudetan tergerus secara intensif dan mulailah terjadi proses meander yang baru.

Mengingat banyaknya masalah yang timbul akibat pembuatan sudetan, maka perencanaannya haruslah dikerjakan dengan berhati-hati dan teliti.

#### 2.5. Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas dibutuhkan dalam rangka mengetahui sejauh mana dampak parameter-parameter yang telah ditetapkan sebelumnya boleh berubah karena adanya faktor situasi dan kondisi, sehingga perubahan tersebut hasilnya akan berpengaruh secara signifikan pada keputusan yang telah diambil.

Analisa sensitivitas umumnya mengandung asumsi bahwa hanya satu parameter saja yang berubah (variabel), sedangkan parameter yang lainnya diasumsikan relatif tetap dalam satu persamaan analisis. Jika analisis sensitivitasnya dikenakan pada dua atau lebih parameter sekaligus yang ditinjau dalam bentuk variabel satu demi satu dengan asumsi parameter yang lain bersifat konstan, maka masalahnya dapat diselesaikan dengan persamaan sederhana biasa.

Sensitivitas berhubungan dengan relatif besar perubahan di satu atau lebih parameter dari persoalan yang akan mengubah sebuah keputusan di antara alternatif. Jadi jika sebuah parameter tertentu dapat dibuat berbeda di suatu rentang nilai tanpa mempengaruhi keputusan, keputusan dibawah pertimbangan itu disebut tidak sensitif

terhadap ketidakpastian yang berhubungan dengan suatu parameter tertentu. Di pihak lain, jika suatu perubahan kecil pada perkiraan satu parameter akan mengubah keputusan, keputusan itu disebut sebagai sangat sensitif terhadap perubahan di dalam perkiraan parameter itu.

Karena semua perkiraan merupakan sasaran bagi sejumlah ketidakpastian, pendekatan sensitivitas bisa sangat membantu di dalam menganalisa sebuah usulan atau sekumpulan usulan. Pemakaian konsep sensitivitas menjadi sebuah langkah perantara diantara analisa yang berdasarkan perkiraan terbaik untuk berbagai parameter dan keputusan akhir. Masing-masing parameter dapat diperiksa untuk melihat sampai dimana sensitifnya keputusan itu terhadap variasi dari perkiraan terbaik, dan hasil-hasil yang digunakan di dalam proses pengambilan keputusan akhir.

Dalam studi ini, dikarenakan tidak adanya data debit untuk mengkalibrasi HEC-RAS, maka dilakukan analisa sensitivitas dengan menggunakan dua variabel yaitu debit dan koefisien manning yang dianggap berpengaruh secara signifikan pada data input HEC-RAS. Analisa Sensitivitas yang biasanya dilakukan dalam analisa sensitivitas proyek pengairan adalah sebagai berikut (Suyanto, 2001 : 41) :

1. Terjadi 10% penurunan debit, manning tetap.
2. Terjadi 10% kenaikan debit, manning tetap.
3. Terjadi 10% penurunan manning, debit tetap.
4. Terjadi 10% kenaikan manning, debit tetap.