

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1. Analisa Hidrologi

Data curah hujan merupakan komponen utama dalam analisis hidrologi, baik dalam perancangan maupun perencanaan bangunan-bangunan hidrolis. Mengingat bahwa analisis data hujan ini merupakan awal analisis dari setiap perancangan dan perencanaan bangunan-bangunan hidrolis, maka perlakuan terhadap masukan ini perlu dilakukan secara teliti. Hal ini karena kesalahan pada analisis ini akan terbawa ke analisis berikutnya.

2.1.1. Analisa Curah Hujan Rerata Daerah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah. Cara-cara perhitungan curah hujan daerah dari pengamatan curah hujan di beberapa titik adalah sebagai berikut :

1. Metode Rerata Aritmatik (*Arithmetic Mean Methode*)

Rata-rata aljabar digunakan untuk luas daerah kurang dari 50.000 ha. Hasil yang diperoleh dengan cara ini tidak berbeda jauh dari hasil yang didapat dengan cara lain dan digunakan jika jumlah titik pengamatan banyak dan tersebar merata di seluruh daerah yang bersangkutan. Keuntungan cara ini adalah obyektif yang berbeda dengan cara isohyet, di mana faktor subyektif turut menentukan (Sosrodarsono,1999:27).

Perhitungan ini dapat dilakukan jika daerah pengaruh dan curah hujan rerata dari tiap stasiun hampir sama.

$$R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (2-1)$$

Dengan R_1, R_2, \dots, R_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

Isohyet digunakan untuk daerah yang lebih dari 500.000 ha. (Sosrodarsono, 1999:29). Isohyet ini adalah garis yang menghubungkan tempat-tempat yang mempunyai kedalaman hujan sama pada saat yang bersamaan. Pada dasarnya cara perhitungan sama dengan yang digunakan pada poligon Thiessen,

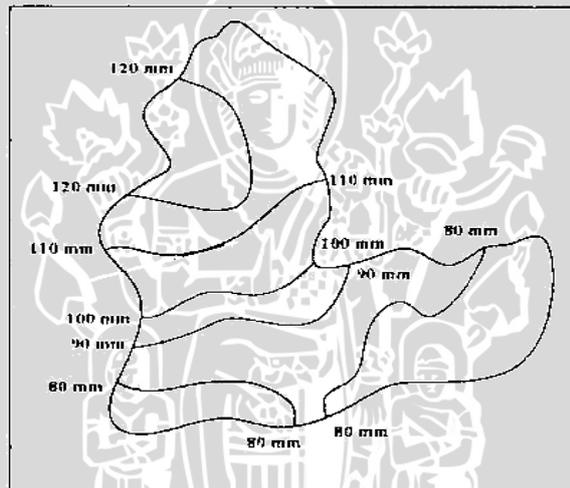
kecuali dalam penetapan besaran faktor koreksinya. Kesulitan yang dijumpai adalah kesulitan dalam setiap kali harus menggambarkan garis isohyet, yang juga masuknya unsur subyektivitas dalam penggambaran garis kontur isohyet. (Sri Harto,1993:55).

Dalam hal terdapat peta Isohyet di dalam DAS, maka perhitungan ini dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{\frac{A_1(R_1 + R_2)}{2} + \frac{A_2(R_2 + R_3)}{2} + \dots + \frac{A_n(R_n + R_{n+1})}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_1^n \frac{A_i(R_i + R_{i+1})}{2}}{A_i} \quad (2-2)$$

dengan:

R = besarnya curah hujan (mm/hari)
A = luas pengaruh stasiun hujan



Gambar 2.1. Cara isohyet
Sumber: Sri Harto (1993:57)

3. Metode Poligon Thiessen

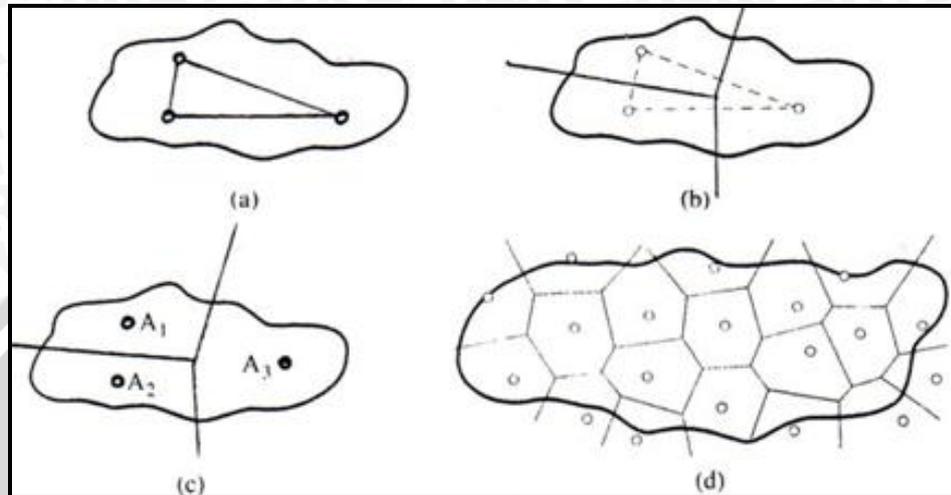
Perhitungan dengan poligon Thiessen memberikan bobot tertentu untuk setiap stasiun hujan dengan pengertian bahwa setiap stasiun hujan dianggap mewakili hujan dalam suatu daerah dengan luas tertentu dan luas tersebut merupakan faktor koreksi bagi hujan di stasiun yang bersangkutan (Sri Harto, 1993:54).

Perhitungan ini dapat dilakukan jika daerah pengaruh dan curah hujan merata dari tiap stasiun berbeda yang dirumuskan sebagai berikut:

$$R = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_1^n A_i R_i}{A_i} \quad (2-3)$$

Dengan 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 polygon 1, 2, ..., n. Sedangkan n adalah banyaknya pos penakar hujan.

Penjelasan metode Poligon Thiessen ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Poligon Thiessen
Sumber: Sosrodarsono (1983:28)

4. Cara Depth Duration Curve

Cara ini digunakan untuk mendapatkan curah hujan rerata yang berlaku untuk satu DPS dengan berbagai durasi curah hujan. Durasi hujan bervariasi misal 6, 8, 12, 24 jam. Penggambaran pada grafik / *chart* ialah absis = luas DAS, dan ordinat = besarnya curah hujan. Dari koordinat tersebut dapat ditarik suatu garis lengkung yang menunjukkan lamanya curah hujan (*duration*).

5. Cara Mass Duration Curve

Cara ini hampir sama dengan Cara *Depth Duration Curve* namun koordinatnya berupa absis = lamanya curah hujan, dan ordinat = curah hujan rerata.

2.1.2. Analisa Curah Hujan Rancangan

Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi (agihan) dan yang banyak digunakan dalam analisis hidrologi, yaitu sebagai berikut:

- Distribusi Normal,
- Distribusi Log Normal,
- Distribusi Gumbel,
- Distribusi Log Pearson Tipe III.

Dalam analisis frekuensi data hidrologi baik data hujan maupun data debit sungai terbukti bahwa sangat jarang dijumpai seri data yang sesuai dengan distribusi

normal. Sebaliknya, sebagian besar data hidrologi sesuai dengan tiga distribusi lain (Sri Harto, 1993:65).

a. Distribusi Normal

Distribusi normal digunakan bila nilai $C_s \approx 0$, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + G \cdot S \quad (2-4)$$

dengan:

X_T = curah hujan yang diperkirakan dengan periode ulang tertentu (mm/hari),

\bar{X} = curah hujan rata-rata (mm/hari),

G = faktor frekuensi,

S = standar deviasi.

b. Distribusi Log Normal

Distribusi log normal digunakan bila nilai $C_s = 3 C_v$ dan $C_s \geq 0$ dengan persamaan:

$$X_T = \bar{X} + G \cdot S \quad (2-5)$$

dengan:

X_T = curah hujan yang diperkirakan dengan periode ulang tertentu (mm/hari),

\bar{X} = curah hujan rerata (mm/hari),

G = faktor frekuensi,

S = standar deviasi.

c. Distribusi Gumbel

Distribusi Gumbel digunakan apabila nilai $C_s = 1,4$ dan $C_k 5,4$, maka persamaan yang digunakan:

$$T_r = \frac{n+1}{m} \quad (2-6)$$

$$P_r = \frac{1}{T_r} \times 100\% \quad (2-7)$$

$$X_t = b + \left[\frac{1}{a} \right] - Y_T \quad (2-8)$$

$$\frac{1}{a} = \frac{S}{Sn} \quad (2-9)$$

$$b = \bar{X} - \frac{S \cdot Y_n}{Sn} \quad (2-10)$$

dengan:

m = nomor urut kejadian,,

n = jumlah data,

X_t = hujan atau debit dengan waktu balik T_r tahun,

\bar{X} = harga rata-rata dari curah hujan.

dengan:

Y_t = reduced variate sebagai fungsi periode ulang T,

S = standar deviasi / penyimpangan bakucurah hujan.

d. Distribusi Log Pearson Tipe III

Apabila nilai Cs tidak memenuhi persyaratan dari ketiga distribusi di atas yaitu distribusi normal, distribusi Log Normal, dan distribusi Gumbel, maka digunakan distribusi Log Pearson Type III.

Parameter Statistik yang diperlukan adalah:

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \quad (2-11)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\log X_i - \overline{\log X} \right)^2}{n-1}} \quad (2-12)$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n \left(\log X_i - \overline{\log X} \right)^3}{(n-1)(n-2)(n-3)} \quad (2-13)$$

Curah hujan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Log } X_T = \overline{\log X} + K.S \quad (2-14)$$

dengan:

X_i = data curah hujan (mm/hari),

$\overline{\log X}$ = harga rata-rata log dari curah hujan harian maksimum,

n = jumlah data yang diobservasi,

k = koefisien frekuensi,

S = standar deviasi,

C_s = koefisien kepercengan,

X_T = curah hujan yang diperkirakan dengan periode ulang tertentu T tahun dalam mm.

Dari distribusi di atas yang direkomendasikan berdasarkan SK SNI M-18-1989 tentang Metode Perhitungan debit banjir adalah metode Gumbel Type I dan Log Pearson Type III.

Tahapan untuk menghitung curah hujan rancangan dengan menggunakan metode Log Pearson Tipe III (CD Soemarto, 1995:152):

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:

$$\overline{\text{Log } x} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} \quad (2-15)$$

3. Menghitung nilai standar deviasinya dengan rumus:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } x_i - \overline{\text{Log } x})^2}{n-1}} \quad (2-16)$$

4. Menghitung koefisien kepercengan dengan rumus:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log x_i - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (2-17)$$

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

$$\log X_i = \overline{\log x} + G.S_i \quad (2-18)$$

Dengan harga G merupakan koefisien faktor frekuensi (diperoleh berdasarkan C_s dan tingkat probabilitasnya).

6. 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. dengan:

$\overline{\log XT}$ = 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 kepengcengan

G = Faktor frekuensi

N = Banyaknya tahun pengamatan

2.1.3. Uji Kesesuaian Distribusi

Untuk menentukan kecocokan (*the goodness of the fit test*) distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperlukan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut di perlukan pengujian parameter. Hal ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu: uji smirnov kolmogorov dan uji chi kuadrat. Sebelum dilakukan pengujian, data yang telah diurutkan digambarkan pada kertas probabilitas dengan cara Weibull yaitu:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2-19)$$

dengan:

P = probabilitas

m = nomor untuk data yang telah disusun

n = nilai data

Setelah penggambaran, selanjutnya garis teoritik ditarik di atas gambar tersebut dan dilakukan pengujian distribusi frekuensi.

2.1.3.1. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan smirnov kolmogorov, sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu (Soewarno, 1995:198).

Parameter uji kecocokan Smirnov Kolmogorov dapat dihitung dengan rumus:

$$D \text{ maksimum} = [P(X_m) - P_1(X_m)] \quad (2-20)$$

dengan:

D = selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis,

$P(X_m)$ = peluang data teoritis,

$P_1(X_m)$ = peluang data pengamatan.

2.1.3.2. Uji Chi-Square

Uji Chi-Kuadrat dimaksud untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter χ^2 , oleh karena itu disebut uji Chi-Kuadrat (Soewarno, 1995:194). Parameter Uji Chi-Kuadrat (χ^2) dapat dihitung dengan rumus:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2-21)$$

dengan:

X^2 = parameter Chi-Kuadrat terhitung,

O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-I,

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-I.

Parameter X^2 merupakan variabel acak, peluang untuk mencapai nilai X^2 sama atau lebih besar dari pada nilai Chi Kuadrat yang sebenarnya.

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. Koefisien Pengaliran (*run-off coefficient*)

Koefisien pengaliran adalah suatu variabel yang didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut. Adapun kondisi dan karakteristik yang dimaksud adalah:

- Keadaan hujan
- Luas dan daerah aliran
- Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai
- Daya infiltrasi dan perkolasi tanah
- Kelembaban tanah
- Suhu udara, angin dan evaporasi
- Tata guna lahan

Angka koefisien pengaliran untuk berbagai kondisi DAS seperti ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.1. Koefisien Pengaliran (*run-off coefficient*) dari Sungai-sungai

Jenis Sungai	Koefisien Pengaliran
Daerah pegunungan berlereng terjal	0.75 – 0.90
Daerah perbukitan	0.70 – 0.80
Daerah bergelombang dan bersemak-semak	0.50 – 0.75
Daerah dataran yang digarap	0.45 – 0.60
Daerah persawahan irigasi	0.70 – 0.80
Sungai di daerah pegunungan	0.75 – 0.85
Sungai kecil di daerah dataran	0.45 – 0.75
Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran yang lebih dari seperduanya terdiri dari dataran	0.50 – 0.75

Sumber: Sosrodarsono (1976:38)

Koefisien pengaliran yang tertera pada Tabel 2.1. di atas telah didasarkan pada pertimbangan bahwa koefisien itu terutama tergantung dari faktor-faktor fisik DAS.

Dr. Kawagami mengemukakan bahwa untuk sungai tertentu, koefisien itu tidak tetap, tetapi berbeda-beda tergantung dari curah hujan. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$f = 1 - \frac{R'}{R_t} = 1 - f' \tag{2-22}$$

dengan:

f = Koefisien pengaliran

f = Laju kehilangan = $\frac{\gamma}{R_t^s}$

R_t = Jumlah curah hujan (mm)

R' = Kehilangan curah hujan (mm)

γ, s = Tetapan

$$f = 1 - f' = 1 - \frac{\gamma}{R_t^s} \tag{2-23}$$

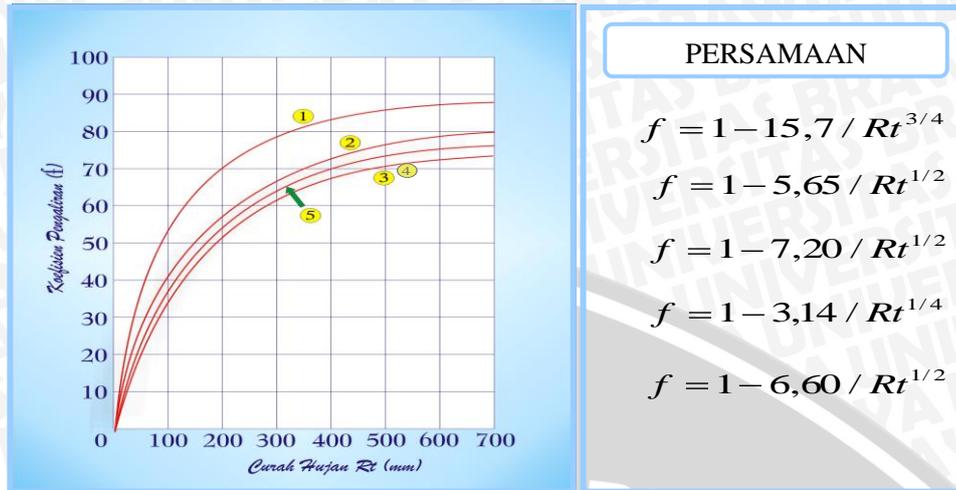
Koefisien pengaliran rata-rata untuk setiap bagian alur sungai seperti ditunjukkan oleh tabel di bawah ini.

Tabel 2.2. Koefisien Pengaliran Pada Alur Sungai

No	Alur Sungai	Kondisi Sungai	Curah Hujan	Rumus Koef. Pengaliran rata-rata
1	Bagian hulu			$f = 1 - 15,7 / R_t^{3/4}$
2	Bagian tengah	Sungai biasa	$R_t > 200$ mm	$f = 1 - 5,65 / R_t^{1/2}$
3	Bagian tengah	Sungai di zona	$R_t < 200$ mm	$f = 1 - 7,2 / R_t^{1/2}$
4	Bagian tengah	lava		$f = 1 - 3,14 / R_t^{1/4}$
5	Bagian hilir			$f = 1 - 6,6 / R_t^{1/2}$

Sumber: Sosrodarsono (1999:146)

Grafik pada Gambar 2.3. berikut ini menggambarkan hubungan antara besarnya curah hujan (R_t) dengan koefisien pengaliran rata-rata (f) untuk masing-masing alur sungai.



Gambar 2.3. Hubungan koefisien pengaliran rata-rata dengan curah hujan (Rt)
 Sumber: Sosrodarsono (1999:147)

$$r_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{34,70}{t^{1,35} + 1,50} \right) \tag{2-24}$$

$$r_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{30}{t + 6} \right) \tag{2-25}$$

dengan:

- r_t = Intensitas curah hujan rata-rata selama t jam
- t = Lama curah hujan atau waktu tiba dari banjir (jam)
- R_{24} = Curah hujan harian, yakni curah hujan 24 jam (mm)

2.2.2. Intensitas Hujan

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. 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*). 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. Intensitas curah hujan secara teoritis menurut *Mononobe* dapat dirumuskan sebagai berikut (Sosrodarsono, 1976: 40)

$$R_t = \frac{R_{24}}{t} \left(\frac{t}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \tag{2-26}$$

dengan:

R_t = intensitas curah hujan dalam T jam (mm/jam)

R_{24} = curah hujan efektif dalam 1 hari (mm/hari)

T = waktu hujan dari awal sampai jam ke T (jam)

t = waktu konsentrasi hujan (jam)

untuk Indonesia rata-rata t = 6 jam, sedangkan curah hujan pada jam ke T, dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$R_T = t \cdot R_t - \sum_{i=1}^{t-1} R_{(t-i)} \quad (2-27)$$

dengan:

R_T = besar curah hujan pada jam ke T (mm)

t = waktu konsentrasi hujan

R_t = intensitas curah hujan dalam T jam (mm/jam)

$R_{(t-1)}$ = intensitas curah hujan dari awal hingga jam ke (t-1) (mm)

2.2.2.1. 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:

$$R_n = C * R \quad (2-28)$$

dengan:

R_n = hujan netto

C = koefisien pengaliran

R = intensitas curah hujan

2.2.2.2. Aliran Dasar (*Base Flow*)

Dengan pertimbangan bahwa di lokasi studi tidak tersedia data debit pengamatan untuk mengetahui debit aliran dasar, maka perhitungan debit aliran dasar (*baseflow*) diperkirakan dengan pendekatan dengan variable masukan luas DAS dan kerapatan jaringan sungai (Triatmojo, 2010:183).

Perhitungan kerapatan jaringan sungai:

$$D = \frac{L}{A} \quad (2-29)$$

Perhitungan debit aliran dasar (Harto,1993:168):

$$Q_b = 0,4751 A^{0,6444} D^{0,9430} \quad \text{-----} \quad (2-30)$$

dengan:

Q_b = aliran dasar (m³/det)

L = panjang total orde sungai

A = luas DAS (m²)

D = kerapatan sungai

2.2.2.3. 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 karakteristik hidrograf (α)
- 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 sintetis *Nakayasu* dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_p = \frac{A \cdot R_o}{3,6 \left(0,3 T_p + T_{0,3} \right)} \quad (2-31)$$

dengan:

Q_p = Debit puncak hidrograf satuan (m³/det)

R_o = 1 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 (km²)

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

$$T_p = tg + 0,8 tr \quad (2-32)$$

$$T_{0,3} = \alpha tg \quad (2-33)$$

$$T_r = 0,5 \text{ tg sampai tg} \quad (2-34)$$

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

- Sungai dengan panjang alur $L > 15 \text{ km}$:

$$\text{tg} = 0,4 + 0,058 L \quad (2-35)$$

- Sungai dengan panjang alur $L < 15 \text{ km}$:

$$\text{tg} = 0,21 L^{0,7} \quad (2-36)$$

dengan:

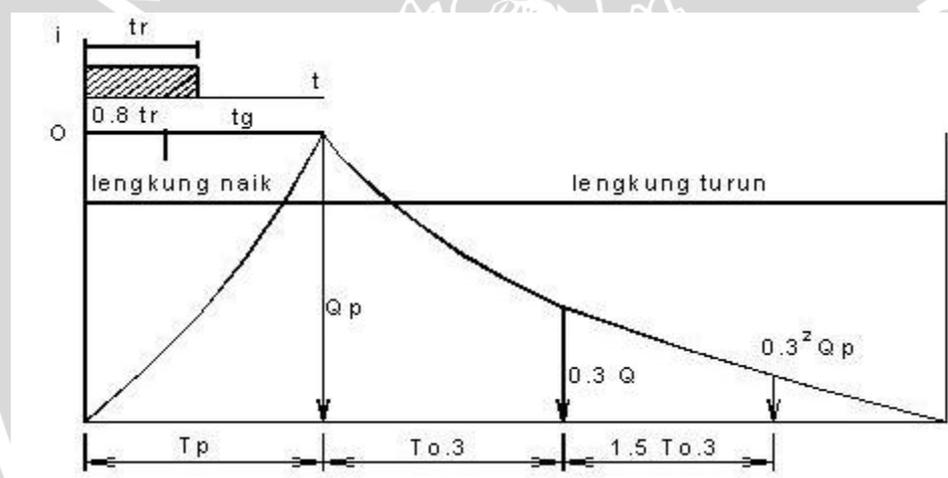
t_r = Satuan waktu hujan (jam)

α = 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 2.4. Hidrograf Satuan Sintetik Metode Nakayasu
Sumber: Soemarto (1987:168)

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

$$Q_{(t)} = \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \cdot Q_p \quad (2-37)$$

dengan:

$Q_{(t)}$ = Debit pada jam ke t (m^3/detik)

t = Waktu (jam)

2. Pada kurva turun (*decreasing limb*)

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

$$Q_{(t)} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}}} \quad (2-38)$$

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

$$Q_{(t)} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5T_{0,3})}{1,5 \cdot T_{0,3}}} \quad (2-39)$$

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

$$Q_{(t)} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+1,5 \cdot T_{0,3})}{2,0 \cdot T_{0,3}}} \quad (2-40)$$

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 , α 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 4.1.0.

Program HEC-RAS 4.1.0 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.

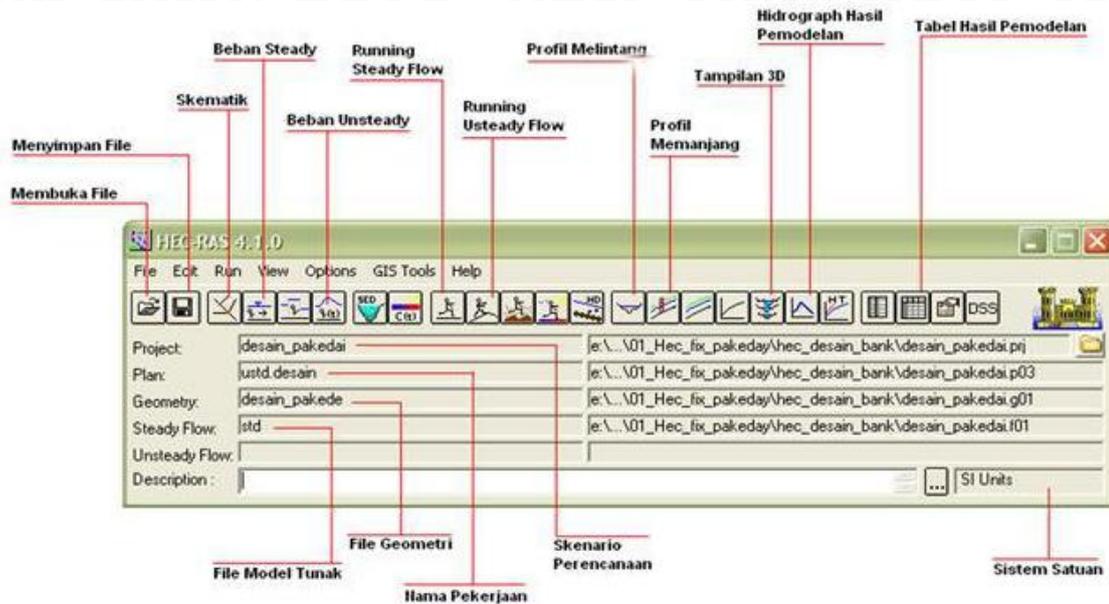
2.3.2 Aplikasi Software HEC-RAS 4.1

Program HEC-RAS 4.1, merupakan lanjutan dari HEC-RAS 4.0 *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 dengan versi yang terbaru ini dapat menangani jaringan saluran air secara penuh untuk kalkulasi aliran tunak (*steady*). Perhitungan dasarnya mengikuti prosedur pemecahan kalkulasi energi aliran satu dimensi. Kehilangan energi dievaluasikan terhadap friksi yang terjadi pada saat pengaliran (persamaan manning), kontraksi dan ekspansi saluran (dengan koefisiennya yang dikalikan dengan kecepatan alir). Persamaan momen digunakan saat situasi dimana profil muka air secara cepat bervariasi. Selanjutnya perhitungan juga bisa dilakukan terhadap talang air, gorong-gorong, pompa air dan struktur bangunan air lainnya.

Penyelesaian aliran tak tunak diambil dari model UNET yang pernah dibuat oleh Dr. Robert L. Barkau. Fasilitas perhitungan aliran tak tunak ini dikembangkan terutama untuk kalkulasi aliran subkritis.

Program HEC-RAS 4.1 menggunakan pengaturan data 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 atau data aliran tak tunak. Dalam masing-masing data aliran tersebut harus terdapat *boundary condition* dan *initial condition* yang sesuai agar permodelan dapat dijalankan.

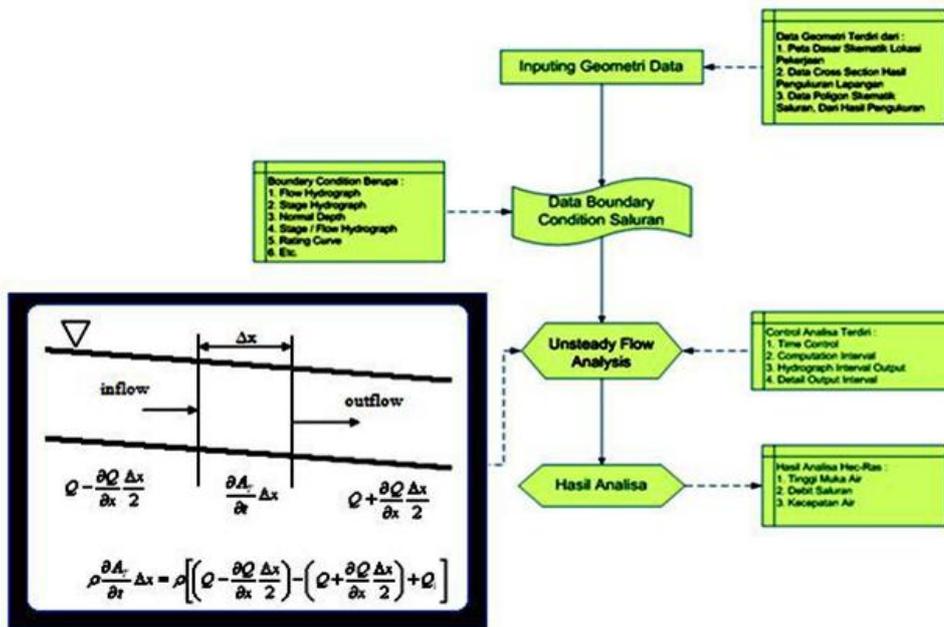


Gambar 2.5. Tampilan Aplikasi HEC-RAS 4.1

Sumber: <http://darmadi18wordpress.com/2013/04/21/hecras-untuk-menghitung-kapasitas-sungai/>

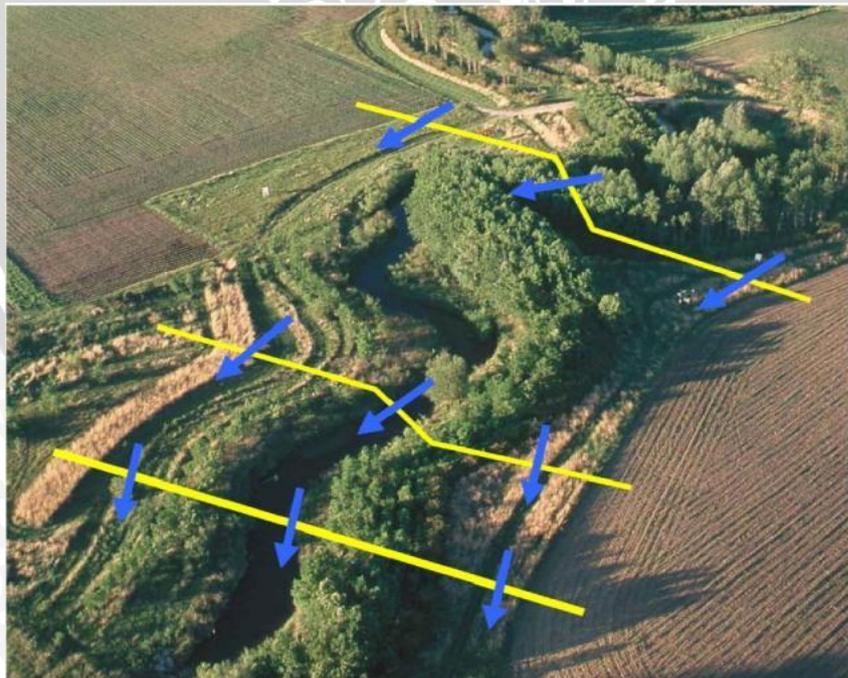
Selanjutnya bisa dilakukan kalkulasi dengan membuat skenario simulasi. Skenario simulasi harus terdiri dari satu data geometri dan satu data aliran. Persamaan yang digunakan dalam melakukan analisa hidrodinamik, pada aplikasi ini adalah dengan dasar persamaan garis energi. Profil muka air dari satu tampang ke tampang berikutnya dihitung dengan persamaan energi dengan prosedur iterasi standar step. Persamaan energi adalah sebagai berikut:





Gambar 2.6. Flow Chart Permodelan Hidrodinamik dengan HEC-RAS
 Sumber: <http://darmadi18wordpress.com/2013/04/21/hecras-untuk-menghitung-kapasitas-sungai/>

Data cross section hasil dari survey lapangan menjadi masukan data geometri pemodelan pada program HEC-RAS. Berikut merupakan contoh potongan melintang sungai hasil pengukuran lapangan.



Gambar 2.7. Contoh Potongan Melintang Sungai Pengukuran Lapangan
 Sumber: <http://darmadi18wordpress.com/2013/04/21/hecras-untuk-menghitung-kapasitas-sungai/>

Selanjutnya setelah dilakukan pembuatan geometri pemodelan, maka selanjutnya dilakukan pembebanan pada syarat batas / *boundary condition* dengan debit dari hasil perhitungan analisa hidrologi untuk masing-masing *boundary condition* / batas pemodelan. Batas pemodelan di bagian hulu sungai berupa *flow* / debit, debit pada bagian hulu ini merupakan debit yang berasal dari analisa hidrologi dengan skenario debit rata-rata (*low flow*), sedangkan *boundary* di bagian hilir sungai berupa fluktuasi air pasang surut.

Dari hasil permodelan hidrodinamik dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS akan didapatkan beberapa parameter hidrolis sebagai berikut:

1. Profil muka air rencana hasil skenario permodelan. Dengan diketahuinya profil muka air sungai baik profil memanjang ataupun profil melintang, maka akan dapat direncanakan dimensi saluran rencana ataupun ketinggian tanggul rencana, sehingga tidak terjadi limpasan (banjir).
2. Debit saluran pada lokasi-lokasi tertentu dan pada waktu tertentu (*flow hydrograph*).
3. Kecepatan aliran yang terjadi pada segmen sungai. Selain pada segmen sungai, kecepatan aliran juga dapat diketahui di lokasi bangunan yang ada di sepanjang sungai.

2.3.3 Koefisien kekasaran Manning

Dalam menentukan kekasaran Manning yang sesuai untuk berbagai kondisi sangat bervariasi dan tergantung pada berbagai faktor. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran baik pada saluran batuan maupun alam adalah (Chow, 1997:92):

- Tumbuhan
- Kekasaran permukaan
- Trase saluran
- Pengendapan dan gerusan
- Ukuran dan bentuk butiran
- Kedalaman air dan debit
- Ketidakteraturan saluran
- Hambatan
- Taraf air dan debit

Bila debit terlalu besar, air banjir dapat melimpas ke tebing sungai dan sebagian aliran akan mengairi dataran banjir. Nilai n pada bantaran banjir biasanya lebih besar daripada di saluran dan besarnya tergantung pada kondisi permukaan dan tumbuhannya.

Saluran besar (lebar atas pada taraf banjir > 100 ft), nilai n lebih kecil dari saluran kecil dengan perincian yang sama, sebab tebing memberikan hambatan efektif yang lebih kecil.



Tabel 2.3 Tabel Koefisien Manning

Tipe saluran dan deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
Digali atau Dikeruk			
<i>a.</i> Tanah lurus dan seragam			
1.. Bersih, baru dibuat	0,016	0,018	0,020
2. Bersih, telah melapuk	0,018	0,022	0,025
3. Kerikil, penampang seragam, bersih	0,022	0,025	0,030
4. Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
<i>b.</i> Tanah, berkelok-kelok dan tenang			
1. Tanpa tetumbuhan	0,023	0,025	0,030
2. Rumput dengan beberapa tanaman pengganggu	0,025	0,030	0,033
3. Banyak tanaman pengganggu atau tanaman air pada saluran yang dalam	0,030	0,035	0,040
4. Dasar tanah dengan tebing dari batu pecah	0,028	0,030	0,035
5. Dasar berbatu dengan tanaman pengganggu pada tebing	0,025	0,035	0,040
6. Dasar berkerakal dengan tebing yang bersih	0,030	0,040	0,050
<i>c.</i> Hasil galian atau kerukan			
1. Tanpa tetumbuhan	0,025	0,028	0,033
2. Semak-semak kecil di tebing	0,035	0,050	0,060
<i>d.</i> Pecahan batu			
1. Halus, seragam	0,025	0,035	0,040
2. Tajam, tidak beraturan	0,035	0,040	0,050
<i>e.</i> Saluran tidak dirawat, dengan tanaman pengganggu dan belukar tidak dipotong			
1. Banyak tanaman pengganggu setinggi air	0,050	0,080	0,120
2. Dasar bersih, belukar di tebing	0,040	0,050	0,080
3. Idem, setinggi muka air tertinggi	0,045	0,070	0,110
4. Banyak belukar setinggi air banjir	0,080	0,100	0,140
Saluran Alam			
2-1. Saluran kecil (lebar atas pada taraf banjir <100 kaki)			
<i>a.</i> Saluran di dataran			
1. Bersih lurus, terisi penuh, tanpa rekahan atau ceruk dalam	0,025	0,030	0,033
2. Seperti di atas, banyak batu-batu, tanaman pengganggu	0,030	0,035	0,040
3. Bersih, berkelok-kelok, berceruk, bertebing	0,033	0,040	0,045
4. Seperti di atas, dengan tanaman pengganggu, batu-batu	0,035	0,045	0,050
5. Seperti di atas, tidak terisi penuh, banyak kemiringan dan penampang yang kurang efektif	0,040	0,048	0,055
6. Seperti no.4, berbatu lebih banyak	0,045	0,050	0,060
7. Tenang pada bagian lurus, tanaman pengganggu, ceruk dalam	0,050	0,070	0,080
8. Banyak tanaman pengganggu, ceruk dalam atau jalan air penuh kayu dan ranting	0,075	0,100	0,150

Sumber : Chow (1997:102)

Tabel 2.3 Tabel Koefisien Manning (Lanjutan)

Tipe saluran dan deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
<i>b.</i> Saluran di pegunungan, tanpa tetumbuhan di saluran tebing umumnya terjal, pohon dan semak-semak sepanjang tebing			
1. Dasar: kerikil, kerakal dar. sedikit batu besar	0,030	0,040	0,050
2. Dasar: kerakal dengan batu besar	0,040	0,050	0,070
D-2. Dataran banjir			
<i>a.</i> Padang rumput tanpa belukar			
1. Rumput pendek	0,025	0,030	0,035
2. Rumput tinggi	0,030	0,035	0,050
<i>b.</i> Daerah pertanian			
1. Tanpa tanaman	0,020	0,030	0,040
2. Tanaman dibariskan	0,025	0,035	0,045
3. Tanaman tidak dibariskan	0,030	0,040	0,050
<i>c.</i> Belukar			
1. Belukar terpencah, banyak tanaman pengganggu	0,035	0,050	0,070
2. Belukar jarang dan pohon, musim dingin	0,035	0,050	0,060
3. Belukar jarang dan pohon, musim semi	0,040	0,060	0,080
4. Belukar sedang sampai rapat, musim dingin	0,045	0,070	0,110
5. Belukar sedang sampai rapat, musim semi	0,070	0,100	0,160
<i>d.</i> Pohon-pohonan			
1. Willow rapat, musim semi, lurus	0,110	0,150	0,200
2. Tanah telah dibersihkan, tunggul kayu tanpa tunas.	0,030	0,040	0,050
3. Seperti di atas, dengan tunas-tunas lebat	0,050	0,060	0,080
4. Banyak batang kayu, beberapa tumbang, ranting-ranting, taraf banjir di bawah cabang pohon	0,080	0,100	0,120
5. Seperti di atas taraf banjir mencapai cabang pohon	0,100	0,120	0,160
D-3. Saluran besar (lebar atas pada taraf banjir > 100 kaki). Nilai <i>n</i> lebih kecil dari saluran kecil dengan perincian yang sama, sebab tebing memberikan hambatan efektif yang lebih kecil			
<i>a.</i> Penampang beraturan tanpa batu besar atau belukar	0,025	0,060
<i>b.</i> Penampang tidak beraturan dan kasar	0,035	0,100

Sumber : Chow (1997:102)

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:

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_0 \quad (2-41)$$

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).

Pada umumnya meander sungai akan mempunyai kemiringan dasar yang sangat landai. Dasar sungai pada sisi luar belokan umumnya akan lebih dalam karena adanya kecepatan yang lebih besar pada sisi luar belokan tersebut. Besarnya kecepatan arus melintang ini bekisar antara 10-15% dari kecepatan pada arah utama aliran, dengan ciri bahwa di dekat permukaan arus melintang bergerak ke arah belokan luar dan di dekat dasar arus tersebut bergerak ke arah belokan dalam. Dengan demikian akan mudah dipahami bahwa pada sungai yang bermeander, gerusan akan terjadi pada sisi luar belokan dan pengendapan akan terjadi pada sisi dalam belokan.

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 di kanan 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

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 2.4. Hubungan antara Debit Banjir Rencana dengan Tinggi Jagaan

No	Debit Banjir Rancangan (m ³ /dt)	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 (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 2.5. Lebar Standar Mercu Tanggul

No	Debit Banjir Rancangan (m ³ /dt)	Lebar Mercu (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.

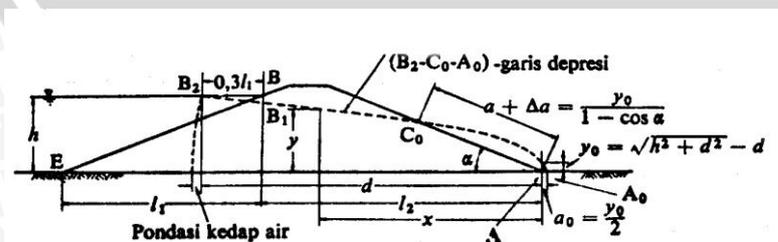
Bahan yang cocok untuk pembangunan tanggul adalah tanah dengan karakteristik sebagai berikut :

1. Dalam keadaan jenuh air mampu bertahan terhadap gejala gelincir dan longsor.
2. Pada waktu banjir yang lama tidak rembes atau bocor.
3. Penggalan, transportasi dan pemadatannya mudah
4. Tidak terjadi retak-retak yang membahayakan kestabilan tubuh tanggul.
5. Bebas dari bahan organis, seperti akar-akaran, pohon-pohonan dan rumput-rumputan.

2.5. Stabilitas Tanggul

2.5.1. 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, 1981 :156).



Gambar 2.8. Garis depresi pada Tanggul (sesuai dengan garis parabola)

Sumber : Sosrodarsono (2002:156)

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:

$$L_1 = m \cdot h \quad (2-41)$$

$$L_2 = l_{\text{total}} - l_1 \quad (2-42)$$

$$d = 0,3 L_1 + L_2 \quad (2-43)$$

$$a + \Delta a = \frac{Y_0}{1 - \cos \alpha} \quad (2-44)$$

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2 y_0} \quad (2-45)$$

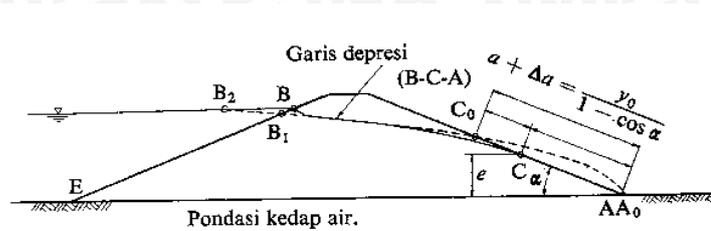
$$y = \sqrt{2 y_0 x + y_0^2} \quad (2-46)$$

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \quad (2-47)$$

dengan :

- m= kemiringan lereng
- h= jarak vertikal antara titik A dan B
- d= jarak horisontal antara titik B2 dan A
- l1= jarak horisontal antara titik B dan E
- l2= jarak horisontal antara titik B dan A
- A= ujung tumit hilir tanggul
- B= titik perpotongan antara muka air dan lereng udik tanggul
- A1= titik perpotongan antara parabola bentuk besar garis depresi dengan garis vertikal melalui titik B
- B2= titik yang terletak sejauh $0,3 l_1$ horisontal ke arah hulu dari titik B

Garis parabola bentuk besar (B2-C0-A0) di atas masih diperlukan penyesuaian menjadi garis B-C-A yang merupakan garis depresi sesungguhnya, dengan modifikasi sebagai berikut.



Gambar 2.9. Garis depresi pada tanggul homogen dengan garis yang mengalami modifikasi

Sumber : Sosrodarsono (2002:157)

- Pada titik permulaan, garis depresi berpotongan dengan lereng hulu tanggul, dan dengan demikian titik C dipindahkan ke titik C sepanjang Δa
- Panjang garis Δa tergantung dari kemiringan lereng hilir tanggul, dimana air filtraasi tersembul keluar yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

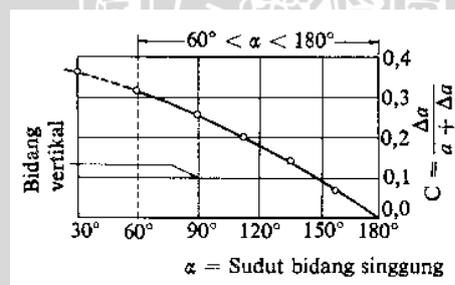
$$a + \Delta a = \frac{Y_0}{1 - \cos \alpha} \quad (2-48)$$

dengan:

a = jarak A-C

Δa = jarak C₀-C

Nilai c untuk berbagai macam α diberikan oleh Casagrande untuk sembarang kemiringan α dari 30° sampai 180° . Dengan diketahuinya sudut α yang berasal dari gambar penampang potongan bendungan, nilai c dapat ditentukan dari Gambar 2.19.



Gambar 2.10. grafik nilai C

Sumber : Sosrodarsono (2002:158)

Adapun persamaan untuk menghitung besarnya Δa adalah

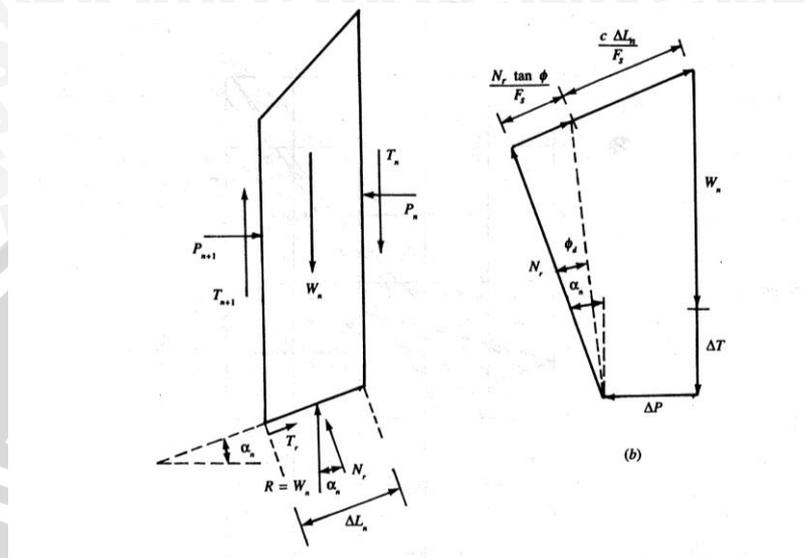
$$\Delta a = (a + \Delta a) C \quad (2-49)$$

2.5.2. Analisa Stabilitas Lereng Metode Irisan Bishop

Pada tahun 1955, *Bishop* memperkenalkan suatu penyelesaian yang lebih teliti daripada metode irisan yang sederhana. Dalam metode ini, pengaruh gaya – gaya pada sisi tepi tiap irisan diperhitungkan. Gaya – gaya yang bekerja pada irisan nomor n ,

yang ditunjukkan dalam Gambar 2.19, digambarkan dalam Gambar 2.19 (a). Sekarang, misalkan $P_n - P_{n+1} = \Delta P$; $T_n - T_{n+1} = \Delta T$. Juga dapat ditulis bahwa:

$$T_r = N_r \tan(\phi_d) + c_d \Delta L_n = N_r \left(\frac{\tan \phi}{F_s} \right) + \frac{c \Delta L_n}{F_s} \quad (2-50)$$



Gambar 2.11. Metode irisan *Bishop* yang disederhanakan; (a) Gaya – gaya yang bekerja pada irisan nomor n , (b) Poligon gaya untuk keseimbangan

Sumber: Das (1994:191)

Gambar 2.11 (b) menunjukkan poligon gaya untuk keseimbangan dari irisan nomor n . Jumlahkan gaya dalam arah vertikal.

$$W_n + \Delta T = N_r \cos \alpha_n + \left[\frac{N_r \tan \phi}{F_s} + \frac{c \Delta L_n}{F_s} \right] \sin \alpha_n \quad (2-51)$$

atau,

$$N_r = \frac{W_n + \Delta T - \frac{c \Delta L_n}{F_s} \sin \alpha_n}{\cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \sin \alpha_n}{F_s}} \quad (2-52)$$

Untuk keseimbangan blok ABC (Gambar 2.20), ambil momen terhadap O

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n r \sin \alpha_n = \sum_{n=1}^{n=p} T_r r \quad (2-53)$$

dengan,

$$T_r = \frac{1}{F_s} (c + \sigma \tan \phi) \Delta L_n = \frac{1}{F_s} (c \Delta L_n + N_r \tan \phi) \quad (2-54)$$

Dengan memasukkan persamaan (2-52) dan (2-53) ke persamaan (2-54), maka didapatkan:

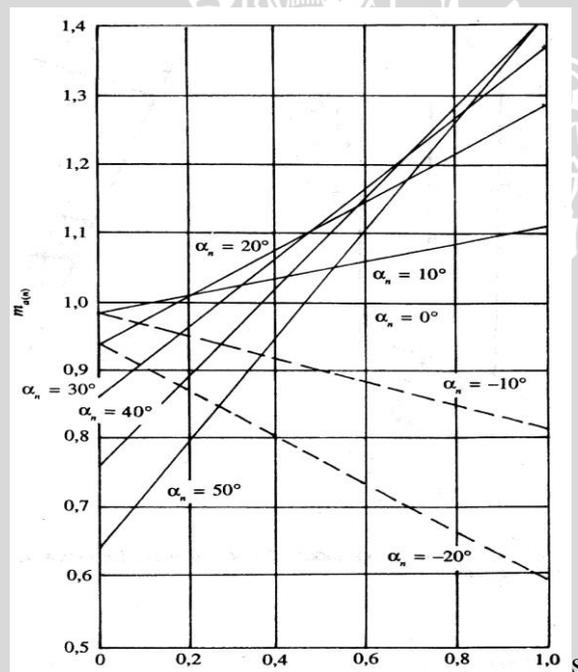
$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (cb_n + W_n \tan \phi + \Delta T \tan \phi) \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (2-55)$$

dengan

$$m_{\alpha(n)} = \cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \sin \alpha_n}{F_s} \quad (2-56)$$

Untuk penyederhanaan, bila kita mengumpamakan $\Delta T = 0$, maka persamaan berubah menjadi:

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (cb_n + W_n \tan \phi) \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (2-57)$$



Gambar 2.12. Variasi $m_{\alpha(n)}$ dengan $\tan \phi / F_s$ dan α_n

Sumber : Das (1994:192)

Perhatikan bahwa F_s muncul pada kedua sisi dari persamaan (2-57). Oleh karena itu, cara coba – coba perlu dilakukan untuk mendapatkan harga F_s . Gambar 2.21 menunjukkan variasi dari $m_{\alpha(n)}$ dengan $\tan \phi / F_s$ untuk bermacam – macam harga α_n .

Seperti pada metode irisan sederhana, beberapa bidang longsor harus diselidiki untuk mendapatkan bidang longsor yang paling kritis yang akan memberikan angka keamanan minimum.

2.5.3. Analisa Stabilitas Lereng Tanggul dengan Geostudio2007

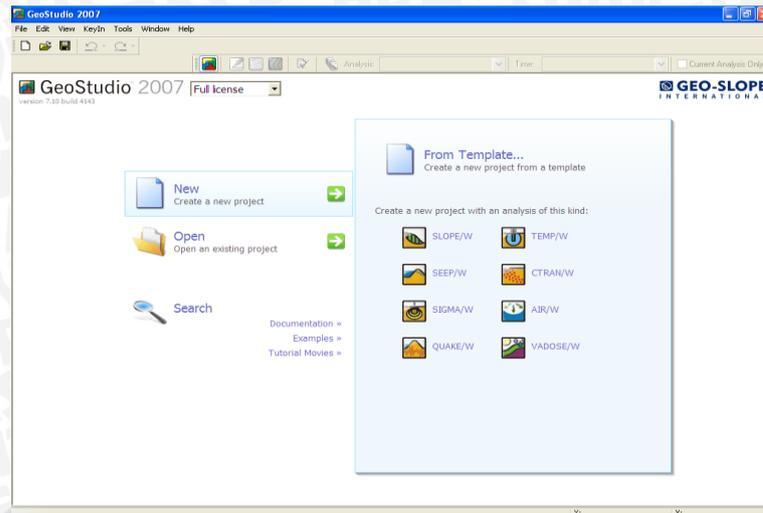
Program Geostudio 2007 telah banyak digunakan, di dalam program Geostudio 2007 terdapat beberapa sub program diantaranya adalah:

1. SLOPE/W
2. SEEP/W
3. SIGMA/W
4. QUAKE/W
5. TEMP/W
6. CTRAN/W
7. AIR/W
8. VADOSE/W

Kelebihan dari Geostudio 2007 diantaranya adalah dapat menggabungkan analisa masing-masing sub program dalam satu lembar kerja. Namun dalam studi ini hanya menggunakan sub program SLOPE/W yakni suatu aplikasi yang di desain dan dikembangkan secara umum sebagai alat untuk menganalisa stabilitas tanah atau lereng (*earth structures*). SLOPE/W salah satu aplikasi yang terintegrasi dengan baik dan dapat menyelesaikan berbagai macam tipe analisa di bidang geoteknik yang lebih kompleks, meliputi analisa dalam hal lereng terbatas (*finite element*), tekanan air pori, dan stabilitas terhadap gempa

SLOPE/W dapat menganalisa stabilitas tanah atau lereng dengan menggunakan beberapa metode yaitu *Fellenius*, *Bishop* dan juga metode *Janbu* dalam sekali analisa, sehingga dapat mempercepat dalam menganalisa stabilitas lereng.

Langkah-langkah penggunaan Geostudio 2007 diantaranya adalah pengaturan awal meliputi pemilihan analisa yang akan digunakan, pengaturan lembar kerja, selanjutnya proses analisa dapat dilakukan.



Gambar 2.13. Tampilan Geostudio 2007 dengan beberapa sub program

2.6 Pintu Sorong

Perencanaan Hidrolis

Rumus debit yang dapat dipakai untuk pintu sorong adalah :

$$Q = K \mu a b \sqrt{2 g h_1} \quad (2-58)$$

dimana:

Q = debit, (m³/dt)

K = faktor aliran tenggelam (lihat Gambar 2.7)

μ = koefisien debit (lihat Gambar 2.6)

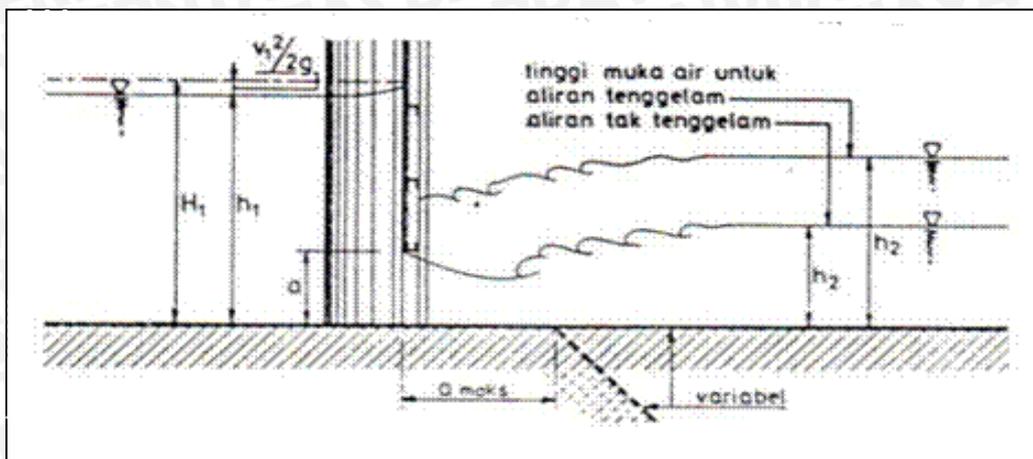
a = bukaan pintu, m

b = lebar pintu, m

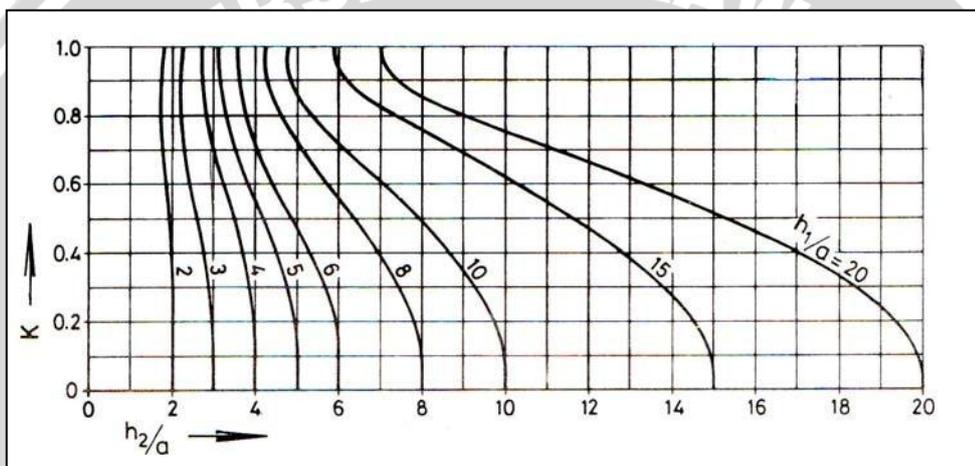
g = percepatan gravitasi, m/dt² (≈ 9,8)

h₁ = kedalaman air di depan pintu di atas ambang, m.

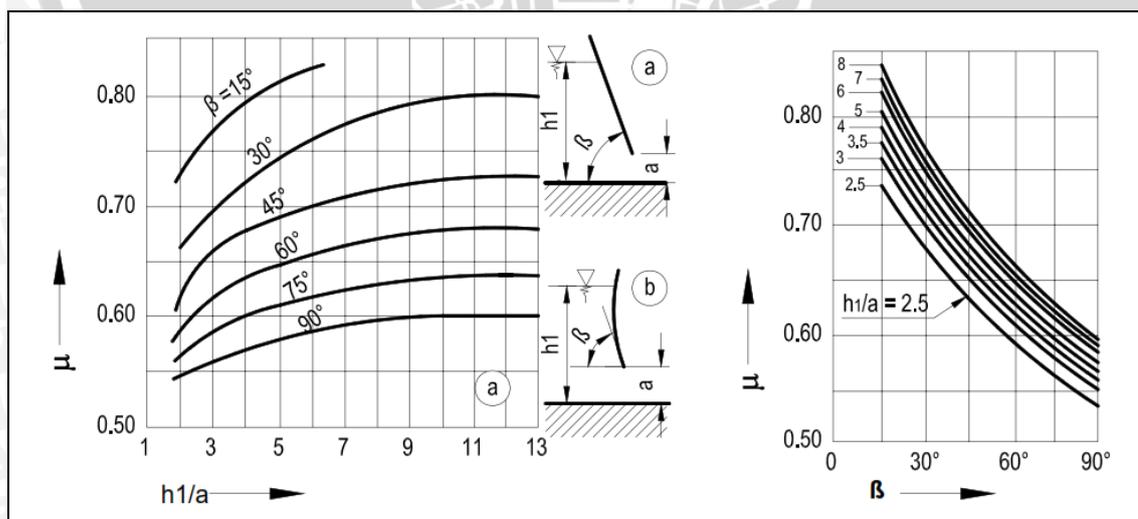
Lebar standar untuk pintu pembilas bawah (undersluice) adalah 0,50 ; 0,75 ; 1,00 ; 1,25 dan 1,50 m. Kedua ukuran yang terakhir memerlukan dua stang pengangkat.



Gambar 2.14. Aliran di Bawah Pintu Sorong Dengan Dasar Horizontal
 Sumber: Anonim (1986:57)



Gambar 2.15. Koefisien K Untuk Debit Tenggelam (dari Scmidt)
 Sumber: Anonim (1986:57)



Gambar 2.16. Koefisien debit μ masuk permukaan pintu datar atau lengkung
 Sumber: Anonim (1986:57)