

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Daerah Aliran Sungai

#### 2.1.1. Pengertian Daerah Aliran Sungai

Pada suatu DAS terdapat daerah tangkapan air (*catchment Area*) yang merupakan suatu wilayah yang berfungsi sebagai daerah penadah air hujan yang mempunyai manfaat penting bagi keberlangsungan kehidupan. Daerah ini merupakan suatu ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumber daya alam (tanah, air, dan vegetasi). Daerah tangkapan air (*catchment Area*) ini berbatas langsung dengan punggung gunung dan bukit pada DAS. Seperti pengertian DAS menurut Asdak (2004:4) bahwa daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daerah yang di batasi punggung-punggungan gunung dimana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut akan ditampung oleh punggung gunung tersebut dan akan dialirkan melalui sungai-sungai kecil ke sungai utama.

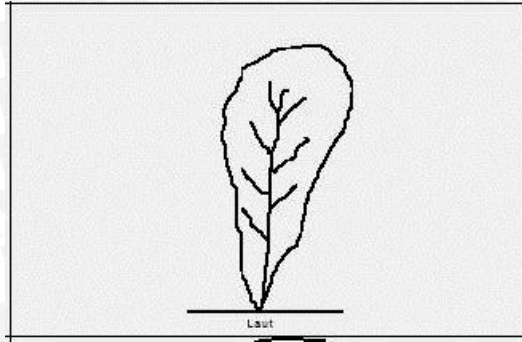
Suatu alur yang panjang di atas permukaan bumi tempat mengalirnya air yang berasal dari hujan disebut alur sungai dan perpaduan antara alur sungai dan perpaduan antara alur sungai dan aliran air didalamnya disebut sungai (Sosrodarsono, 1985:1). Batas wilayah DAS diukur dengan cara menghubungkan titik-titik tertinggi di antara wilayah aliran sungai yang satu dengan yang lain. DAS merupakan suatu wilayah yang merupakan unit kesatuan. Dimana air hujan yang telah ditampung oleh DAS akan dialirkan dari titik sungai tertinggi pada bagian hulu ke bagian hilir kemudian bermuara ke laut.

#### 2.1.2. Bentuk Daerah Aliran Sungai

Sifat-sifat sungai sangat dipengaruhi oleh luas dan bentuk daerah alirannya. Bentuk sungai sangat dipengaruhi oleh kecepatan terpusatnya air. Secara umum terdapat 4 bentuk aliran sungai, yaitu :

a. Bulu Burung (memanjang)

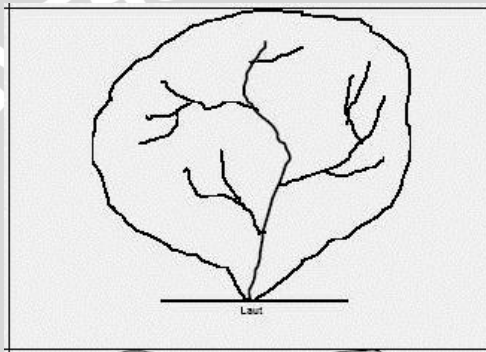
Jalur anak sungai di kanan-kiri sungai utama mengalir menuju sungai utama, debit banjir kecil karena waktu tiba banjir dari anak-anak sungai berbeda-beda. Banjir berlangsung agak lama.



Gambar 2.1 Bentuk sungai tipe bulu burung  
Sumber : Anonim

b. Radial

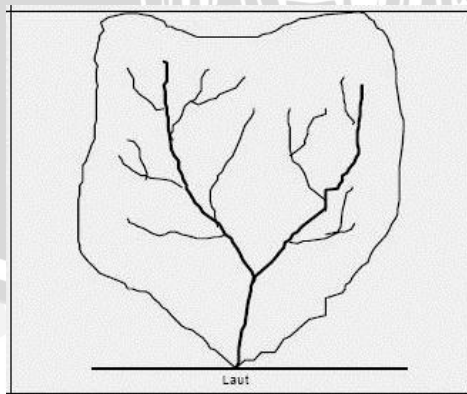
Bentuk DAS menyerupai kipas atau lingkaran, anak-anak sungai berkonsentrasi ke suatu titik secara radial. Banjir besar terjadi di titik pertemuan anak-anak sungai.



Gambar 2.2 Bentuk sungai tipe radial  
Sumber : Anonim

c. Paralel

Bentuk ini punya corak dimana dua jalur dua jalur aliran sungai yang sejajar bersatu dibagian hilir, banjir terjadi di titik pertemuan anak sungai.



Gambar 2.3 Bentuk sungai tipe paralel  
Sumber : Anonim

d. Kompleks

Memiliki beberapa buah bentuk dari ketiga bentuk diatas



### 2.1.3. Alur Sungai

Suatu sungai dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

#### a. Bagian Hulu

Bagian hulu sungai merupakan daerah sungai erosi karena pada umumnya alurnya sungai melalui daerah pegunungan, bukit, atau lereng gunung yang kadang-kadang mempunyai ketinggian yang cukup besar dari muka air laut. Alur sungai dibagian hulu ini biasanya mempunyai kecepatan yang lebih besar dari pada bagian hilir.

Adapun karakteristik sungai bagian hulu adalah :

1. Merupakan awal dari aliran sungai (mata air)
2. Debit air relatif kecil dan dipengaruhi curah hujan
3. Kondisi dasar sungai berbatu
4. Sering ditemui air terjun dan jeram
5. Erosi sungai mengarah ke dasar sungai (vertikal)
6. Aliran air mengalir di atas batuan induk
7. Aliran sungai mengerosi batuan induk
8. Aliran sungai cenderung lurus
9. Tidak pernah terjadi banjir
10. Kualitas air masih baik

#### b. Bagian Tengah

Bagian tengah ini merupakan daerah peralihan dari bagian hulu dan hilir. Kemiringan dasar sungai lebih landai sehingga kecepatan aliran relatif lebih kecil daripada bagian hulu. Bagian ini merupakan daerah keseimbangan antara proses erosi dan sedimentasi yang sangat bervariasi dari musim ke musim.

Adapun karakteristik sungai bagian tengah adalah :

1. Merupakan lanjutan dari hulu sungai
2. Lembah sungai berbentuk huruf U
3. Aliran air tidak terlalu deras
4. Proses erosi sudah tidak dominan
5. Proses proses transportasi hasil erosi dari hulu

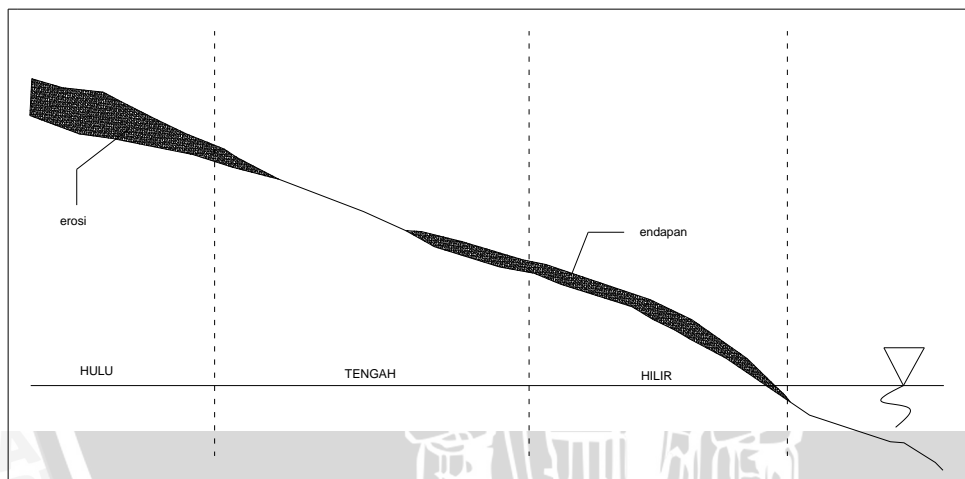
#### c. Bagian Hilir

Alur sungai dibagian hilir biasanya melalui dataran yang mempunyai kemiringan dasar sungai yang landai sehingga kecepatan alirannya lambat. Keadaan ini memudahkan terbentuknya pengendapan atau sedimentasi. Endapan yang terbentuk

biasanya berupa endapan pasir halus, lumpur, endapan organik, dan jenis endapan lain yang sangat labil.

Adapun karakteristik sungai bagian hilir adalah :

1. Merupakan bagian akhir sungai menuju laut
2. Lembah sungai berbentuk huruf U
3. Aliran air permanen
4. Terdapat pengendapan di dalam alur sungai
5. Sering terjadi banjir
6. Terdapat daerah dataran banjir
7. Aliran sungai berkelok-kelok membentuk meander
8. Terdapat danau tapal kuda (*oxbow lake*)
9. Erosi sungai ke arah samping (*lateral*)
10. Badan sungai melebar



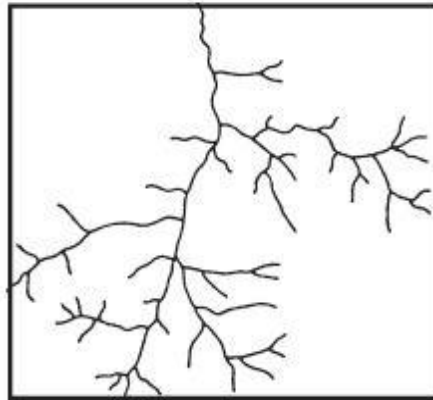
Gambar 2.4 Sketsa profil alur sungai  
Sumber : Anonim

#### 2.1.4. Pola Aliran

Pola aliran sungai ini dipengaruhi beberapa faktor antara lain lereng atau kemiringan, struktur, kekerasan bebatuan, sejarah geologi, sejarah diastrofisme, topografi, litologi bebatuan dasar serta geomorfologi. Oleh karena faktor tersebut, maka pola aliran sungai juga bermanfaat digunakan dalam menginterpretasi kenampakan batuan, geomorfologis dan juga struktur geologi. Pada dasarnya, ada 7 jenis pola aliran sungai. Pembagian ini didasarkan pada pola yang dibentuk sungai tersebut. Adapun jenis-jenis yang dimaksud sebagai berikut:

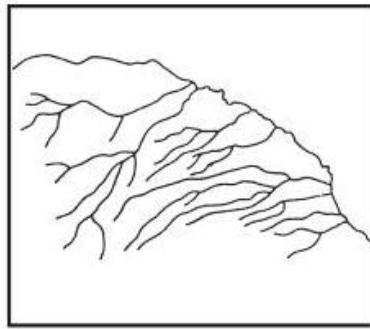
1. Pola aliran sungai dendritik. Merupakan pola aliran yang menyerupai percabangan batang pohon. Percabangannya tidak teratur dan memiliki arah juga sudut yang

beragam. Pola ini berkembang di bebatuan yang cenderung homogen dan tidak melalui kontrol struktur. Pola aliran sungai yang satu ini tidaklah teratur dan umumnya dijumpai di wilayah dataran atau wilayah berpantai juga wilayah plato. Umumnya terdapat pada daerah dengan batuan sejenis dan penyebaran yang luas, misalnya kawasan yang tertutup endapan sedimen yang terluas dan terletak pada bidang horizontal, seperti di dataran rendah bagian timur Sumatera dan Kalimantan.



Gambar 2.5 Pola Aliran sungai dendritik  
Sumber : Anonim

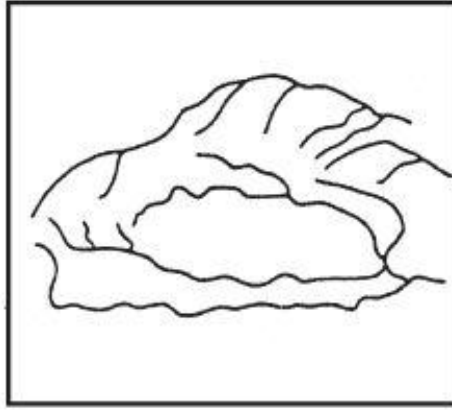
2. Pola aliran paralel merupakan pola yang cenderung sejajar. Ia dijumpai di wilayah perbukitan yang memanjang. Kemiringan lereng pada pola ini cenderung curam dan terjal.



Gambar 2.6 Pola aliran sungai *paralel*  
Sumber : Anonim

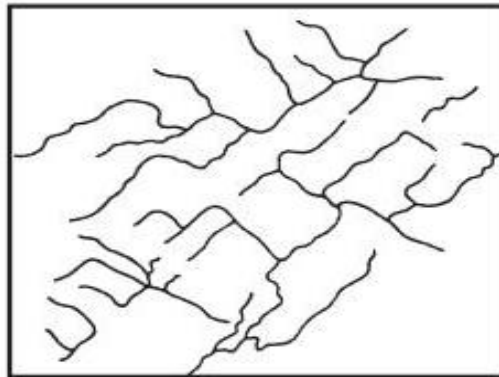
3. Pola aliran annular. Merupakan pola aliran yang arahnya menyebar secara radial dimulai dari suatu titik yang tinggi dan kemudian berjalan ke arah hilir untuk selanjutnya kemudian menyatu dalam satu aliran.





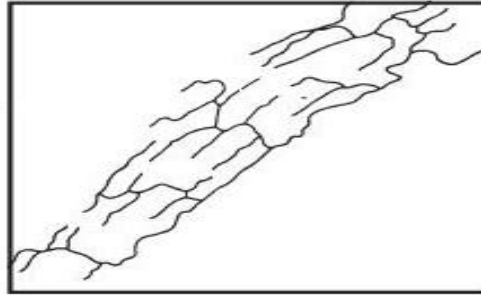
Gambar 2.7 Pola Aliran sungai *annular*  
Sumber : Anonim

4. Pola aliran sungai selanjutnya adalah *rectangular*. Pola ini dibentuk cabang-cabang sungai yang cenderung berkelok, menyambung dan membentuk sudut-sudut yang tegak lurus dan memiliki liku-liku. Pola aliran yang satu ini umumnya dikendalikan oleh pola kekar atau juga bisa oleh pola potongan yang tegak lurus. Rektangular ini bisa terbentuk di bebatuan keras dengan lapis horizontal dan juga batuan kristalin. Umumnya terdapat di daerah berbatuan kapur, seperti di kawasan Gunung Kidul, Yogya.



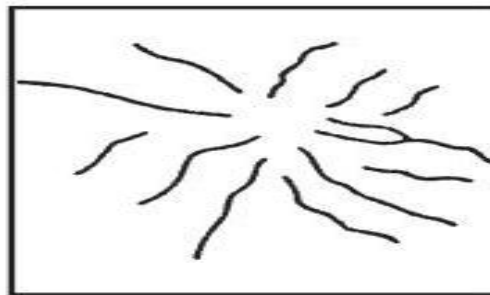
Gambar 2.8 Pola aliran sungai *rectangular*  
Sumber : Anonim

5. Pola aliran *trellis* memiliki bentuk yang panjang-panjang. Ia kerap juga disebut dengan nama pola *trail pagar*. Pola ini sering dijumpai pada sungai yang terletak di bebatuan dengan lupatan dan kemiringan yang kuat. Sungai-sungai besar dengan pola ini umumnya mengikuti singkapat bebatuan yang subsekuen dan juga lunak. Cabang sungainya dari arah kanan juga kiri merupakan jenis *resekuen* atau juga *obsekuen*. Biasanya terdapat di Pegunungan Sumatera Barat dan Jawa Tengah.



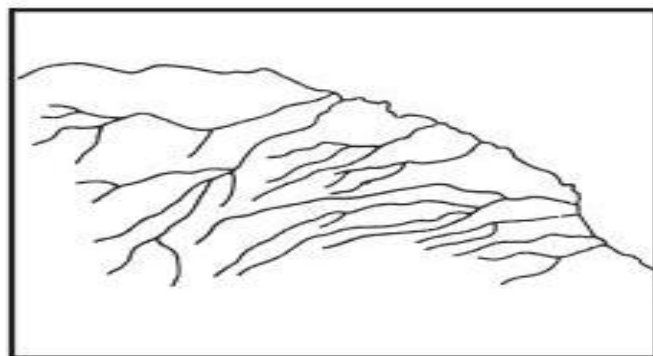
Gambar 2.9 Pola aliran sungai trellis  
Sumber : Anonim

6. Pola aliran radial. Biasa juga dikenal dengan nama pola aliran menyebar. Ciri utamanya adalah aliran yang berbeda dalam hal arah. Menyebar ke segala penjuru baik itu ke utara, barat, timur maupun selatan. Pola ini umumnya ada pada wilayah pegunungan dengan bentuk kerucut. Umumnya dijumpai di daerah lereng gunung berapi, seperti G. Semeru, G. Ijen, G. Merapi. d. Pola trellis : dijumpai di daerah dengan lapisan sedimen di daerah pegunungan lipatan, seperti di Sumatera Barat dan Jawa Tengah



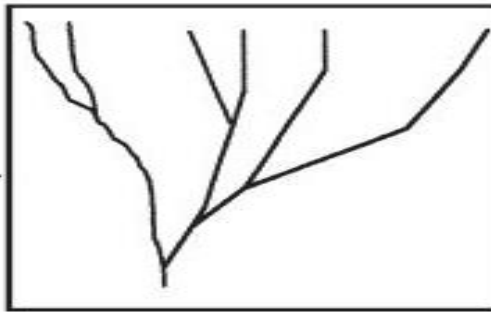
Gambar 2.10 Pola aliran sungai radial  
Sumber : Anonim

7. Pola aliran sejajar adalah pola yang mana alirannya anak sungai utama saling sejajar atau hampir sejajar. Bermuara pada sungai yang membentuk sudut lancip atau bermuara langsung ke laut. Biasanya terdapat disekitar lereng atau pantai.



Gambar 2.11 Pola aliran sungai sejajar atau paralel  
Sumber : Anonim

8. Pola Aliran sungai Pinnate adalah aliran sungai yang mana muara anak sungai membentuk sudut lancip dengan sungai induk. Sungai ini biasanya terdapat bukit yang lerengnya terjal.



Gambar 2.12 Pola aliran sungai pinnate  
Sumber : Anonim

Menurut Soewarno (1991), di Indonesia ada beberapa pola aliran sungai, dimana pola tersebut dibedakan berdasarkan jenis batuan dan sedimennya. Pola aliran tersebut antara lain Pola aliran Radial, Rectangular, Trellis dan dendritik.

## 2.2. Analisa Curah Hujan

### 2.2.1. Uji Konsistensi Data

Ketelitian hasil perhitungan hidrologi dari curah hujan sangat bergantung dari konsistensi data yang tersedia. Didalam data pengamatan hujan, bias terdapat non homogenitas dan ketidaksesuaian data yang dapat mengakibatkan penyimpangan pada hasil perhitungan. Oleh karena itu, sebelum data hidrologi dapat digunakan untuk berbagai analisa, data tersebut harus diolah terlebih dahulu menjadi data siap pakai. Untuk menjadi data siap pakai, maka harus dilakukan pengujian tentang konsistensi (*consistency*) dan kesamaan jenis (*homogenety*).

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

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



Pengujian sederhana yang dilakukan untuk mendeteksi penyimpangan ini, umumnya dilakukan dengan analisa perbandingan normal (*Normal Ratio Method*). Rumus yang dapat digunakan adalah sebagai berikut :

$$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \frac{A_{n_x}}{A_{n_i}} \quad (2-1)$$

Dengan :

$D_x$  = Data tinggi hujan harian maksimum di stasiun x

n = Jumlah stasiun di sekitar x untuk mencari data di x

$d_i$  = Data tinggi hujan harian maksimum di stasiun i

$A_{n_x}$  = Tinggi hujan rata-rata tahunan di stasiun x

$A_{n_i}$  = Tinggi hujan rata-rata tahunan di stasiun sekitar x

### 2.2.2. Curah Hujan Rerata Daerah Harian Maksimum

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan daerah dan dinyatakan dalam mm.

Dengan melakukan penakar 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 area adalah dengan mengambil harga rata-ratanya.

### 2.2.3. Metode Rerata Arithmatik

Metode ini paling sederhana dalam perhitungan curah hujan daerah. Metode ini sangat 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 cara hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya. Hujan diperoleh dari persamaan berikut. (Hadisusanto, Nugroho, 2011 : 11)

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (2-2)$$

Dimana :

P = hujan rata-rata (mm)

$P_1, P_2, \dots, P_n$  = jumlah hujan masing-masing stasiun yang diamati (mm)

### 2.2.4. Model Analisa Curah Hujan Rancangan

Hujan rancangan maksimum adalah besarnya curah hujan harian terbesar tahunan yang mungkin terjadi disuatu daerah dengan periode kala ulang tertentu. Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam menghitung besarnya curah hujan rancangan pada suatu daerah tertentu, antara lain distribusi Gumbel type I, Log Pearson Type III dan lain-lain. Adapun beberapa parameter statistik yang digunakan sebagai dasar pengembangan rumus untuk masing-masing metode adalah sebagai berikut :

Untuk menentukan metode yang sesuai, maka terlebih dahulu harus dihitung besarnya parameter-parameter statistic seperti koefisien Cs (koefisien kepengcengan) dan Ck (koefisien puncak). Persamaan yang digunakan adalah :

$$C_s = \frac{n \sum (x - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (2-3)$$

$$C_k = \frac{n^2 \sum (x - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad (2-4)$$

Dengan :

Cs = Skewness / kepengcengan

Ck = kurtosis / koefisien puncak

S = simpangan baku

n = jumlah data

Tabel 2.1. Parameter statistik dasar pengembangan metode analisa frekuensi distribusi nilai ekstrim

Metode Distribusi	Koefisien Kurtosis, Ck	Koefisien Asimetris, Cs
Gumbel Tipe I	54,002	1,396
Normal	30,000	0,000
Log Pearson Tipe III	Bebas	Bebas

Sumber : Soewarno 1991

### 2.2.5. Distribusi Gumbel

Sebaran Gumbel, umumnya digunakan pada perhitungan hujan harian maksimum untuk menentukan kejadian yang ekstrem. Dimana sebaran ini mempunyai fungsi distribusi eksponensial ganda sebagai berikut (Hasisusanto, Nugroho, 2004:43):

$$P(x) = e^{(-e)^{-Y}} \quad (2-5)$$

Dengan batasan :

$$X \leq x$$

$$-\infty < X < +\infty$$

Dimana :

$P(X)$  = fungsi kerapatan peluang  $X$

$X$  = variable acak kontinyu

$e$  = 2,71828

$Y$  = fungsi reduksi (*reduced variate*)

Persamaan garis lurus sebaran Gumbel tipe I, ditentukan dengan menggunakan metode momen:

$$Y = a (X - X_0) \quad (2-6)$$

Fisher dan Tippet mendapatkan harga :

$$a = \frac{1,281}{\sigma} \quad (2-7)$$

$$X_0 = \mu - \frac{0,577}{a} \quad (2-8)$$

$$X_0 = \mu - 0,455\sigma$$

Dimana :

$\mu$  = nilai rata-rata

$\sigma$  = standart deviasi

Selanjutnya dengan penjabaran lebih lanjut, pada sebaran gumbel tipe I mempunyai nilai koefisien kemencengan (*Skewness*)  $\approx 1,1396$  dan kurtosis  $\approx 5,4002$ , sedangkan nilai  $Y$ , faktor reduksi Gumbel merupakan fungsi dari besarnya peluang atau periode ulang seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2. Persamaan garis lurus sebaran Gumbel tipe I juga dapat didekati dengan persamaan :

$$X = \bar{x} + k.S \quad (2-9)$$

Dimana :

$X$  = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu.

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata kejadian

$S$  = Standar deviasi kejadian

$k$  = Faktor frekuensi  $k$  untuk harga ekstrim Gumbel,

ditulis dengan rumus

$$k = \frac{Y_r + y_n}{S_n} \quad (2-10)$$



Dimana :

$Y_T$  = Reduksi variat

$y_n$  = reduksi rata-rata variat yang nilainya tergantung jumlah data (n)

$$Y_T = -\ln \left[ -\ln \left\{ \frac{(Tr-1)}{Tr} \right\} \right] \quad (2-11)$$

$Tr$  = periode ulang

$s_n$  = standar deviasi variat yang nilainya tergantung jumlah data (n)

Hubungan jumlah data kejadian (n) dengan reduksi rata-rata variat ( $y_n$ ) dan standar deviasi variat ( $s_n$ ), dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Nilai variabel reduksi gumbel

Periode Ulang	Peluang	$Y_t$
T (tahun)	(%)	
1.001	0.999	-1.930
1.110	0.990	-0.834
2.000	0.500	0.366
2.500	0.400	0.671
3.330	0.300	1.030
4.000	0.250	1.240
5.000	0.200	1.510
10.000	0.100	2.250
20.000	0.050	2.970
50.000	0.020	3.900
100.000	0.010	4.600
200.000	0.005	5.290
500.000	0.002	6.210
1000.000	0.001	6.900

Sumber : Nugraha Hadisusanto, 2004

Tabel 2.3 Hubungan reduksi rata-rata ( $Y_n$ ) dan reduksi standar deviasi ( $S_n$ ) dengan jumlah data kejadian ( $n$ )

n	$Y_n$	n	$Y_n$	n	$S_n$	n	$S_n$
10	0.4952	30	0.5326	10	0.9496	30	1.1124
11	0.4996	31	0.5371	11	0.9676	31	1.1159
12	0.5035	32	0.538	12	0.9833	32	1.1193
13	0.5070	33	0.5388	13	0.9971	33	1.1226
14	0.5100	34	0.5396	14	1.0095	34	1.1255
15	0.5128	35	0.5402	15	1.0206	35	1.1285
16	0.5157	36	0.541	16	1.0316	36	1.1313
17	0.5181	37	0.5418	17	1.0411	37	1.1339
18	0.5202	38	0.5424	18	1.0493	38	1.1363
19	0.5220	39	0.543	19	1.0565	39	1.1388
20	0.5236	40	0.5436	20	1.0628	40	1.1413
21	0.5252	41	0.5442	21	1.0696	41	1.1436
22	0.5268	42	0.5448	22	1.0754	42	1.1458
23	0.5283	43	0.5453	23	1.0811	43	1.148
24	0.5296	44	0.5458	24	1.0864	44	1.1499
25	0.5309	45	0.5463	25	1.0915	45	1.1519
26	0.5320	46	0.5468	26	1.0961	46	1.1538
27	0.5332	47	0.5473	27	1.1004	47	1.1557
28	0.5343	48	0.5477	28	1.1047	48	1.1574
29	0.5353	49	0.5481	29	1.1086	49	1.159

Sumber : Nugraha Hadisusanto, 2004

### 2.2.6. Log Person Tipe III

Apabila  $X_i$  adalah sampel data sebesar  $n$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ), dalam hubungan berikut :

$$Y_i = \text{Log}(X_i) \quad (2-12)$$

Jika  $Y_i$  terdistribusi menurut Pearson III, maka  $X_i$  terdistribusi menurut Log Pearson III (log dengan bilangan dasar 10).

Distribusi Pearson diterapkan di bidang hidrologi, terutama sebagai distribusi puncak banjir. Distribusi Pearson III bersifat sangat fleksibel, dengan kisaran kepengcengan negatif sampai positif. Sedangkan distribusi normal merupakan kasus spesial dari distribusi Pearson III dengan kepengcengan nol. Penerapan log adalah untuk mereduksi kepengcengan yang terlalu positif.

Untuk mencari  $Y$  dgn kala ulang (probabilitas) tertentu, digunakan rumus sebagai berikut :

$$Y = \bar{Y} + K \cdot S_y \quad (2-13)$$

dengan

$Y$  = harga rerata  $Y_i$

$K$  = faktor frekuensi  $\rightarrow$  Tabel Log Pearson III

$S$  = simpangan baku dari  $Y_i$

Prosedur penghitungan :

1. Ubah data tahunan sebanyak n buah  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  menjadi  $\log X_1, \log X_2, \log X_3, \dots, \log X_n$
2. Hitung nilai standar deviasinya dengan formula Stdev di Excel
3. Hitung koefisien kepeccengan dengan formula Skew d Excel
4. Hitung logaritma data dengan kala ulang yang dikehendaki menggunakan rumus :  

$$\text{Log Hujan}_{\text{rancangan}} = \text{Log hujan}_{\text{rerata}} + K \cdot Sd$$
5. Cari antilog dari  $\log \text{hujan}_{\text{rancangan}}$  untuk mendapatkan nilai hujan rancangan.

### 2.2.7. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

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

### 2.2.8. Uji Smirnov Kolmogorof

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 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 ditribusinya).
3. Mencari kedua nilai peluang ditentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
4. Berdasarkan tabel nilai kritis (Smirnov-Kolmogorov Test) dapat ditentukan harga  $\Delta_{cr}$



Apabila  $\Delta_0$  lebih kecil dari  $\Delta_{cr}$  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.

### 2.2.9. Uji Chi Square

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara vertical apakah distribusi pengamatan dapat diterima secara teoritis. Pada penggunaan uji Smirnov-Komogorov, 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):

$$X^2 = \sum \frac{(Ef - Of)^2}{Ef} \quad (2-14)$$

Dengan :

$X^2$  = chi-square

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

$Of$  = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

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

Derajat kebebasan ini secara umum dapat dihitung dengan :

$$DK = K - (P + 1) \quad (2-15)$$

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 literature diatas, maka metode yang paling tepat untuk studi ini yang digunakan untuk uji kecocokan adalah uji Chi-Square Karena uji Square menguji penyimpangan distribusi data pengamatan dengan mengukur secara matematis kedekatan antara data pengamatan dan seluruh bagian garis persamaan distribusi teoritisnya.

### 2.2.10. Distribusi Hujan Jam-jaman Model 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. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data hujan yang telah terjadi di masa 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) :

$$R_t = \frac{R_{24}}{t} \left( \frac{t}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2-16)$$

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 :

$$R_T = t \cdot R_t - (t - 1) \cdot R_{(t-1)} \quad (2-17)$$

dengan :

$R_T$  = Besarnya 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)

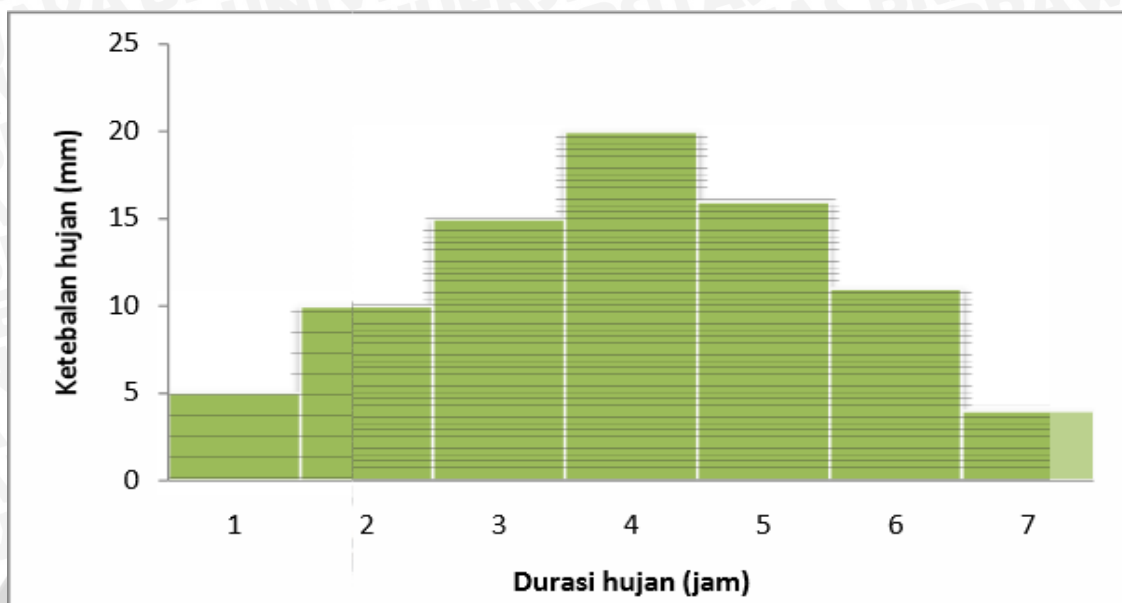
### 2.2.11. Alternating Block Method (ABM)

*Alternating Block Method (ABM)* adalah cara sederhana untuk membuat *hyterograph* rencana dari kurva IDF (chow et al. 1998). *Hyterograph* rencana yang dihasilkan oleh metode ini adalah hujan yang terjadi dalam n rangkaian interval waktu yang berurutan dengan durasi  $\Delta t$  selama waktu  $T_d = n \Delta t$ . Untuk periode ulang tertentu, intensitas hujan diperoleh dari kurva IDF pada setiap durasi waktu  $\Delta t, 2 \Delta t, 3 \Delta t, \dots$

Kedalaman hujan diperoleh dari perkalian antara intensitas hujan dan durasi waktu tersebut. Perbedaan antara nilai kedalaman hujan yang berurutan merupakan penambahan hujan dalam interval waktu  $\Delta t$ . Penambahan hujan tersebut (blok – blok), diurutkan kembali dalam rangkaian waktu dengan intensitas hujan maksimum berada pada tengah tengah durasi hujan  $T_d$  dan blok-blok sisanya disusun dalam urutan menurun secara



bolak-balik pada kanan dan kiri dari blok tengah. Dengan demikian telah terbentuk *hyterograph* rencana, seperti ditunjukkan dalam gambar berikut.



Gambar 2.13. *Hyetograph* dengan *Alternating Block Method*.

Sumber : Sosrodarsono (1983 : 38)

### 2.2.12. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran (C) adalah perbandingan antara jumlah air yang mengalir di suatu daerah akibat turunnya hujan dengan jumlah air yang turun di daerah tersebut. Besarnya koefisien pengaliran tergantung pada daerah pengaliran tergantung pada daerah dan karakteristik hujan pada suatu daerah yang meliputi : keadaan hujan, luas dan bentuk daerah pengaliran, kemiringan daerah pengaliran, daya infiltrasi dan perkolasi tanah, kelembapan tanah, suhu, udara, angin, evaporasi, tata guna lahan.

Beberapa petunjuk untuk mendapatkan angka koefisien pengaliran dapat dilihat pada tabel berikut (Sosrodarsno, 1977:38).

Tabel 2.4. Koefisien pengaliran (*run off coesiffisen*) dari sungai-sungai (didasarkan pada rumus-rumus hidrolika, diterbitkan oleh *Civil Engineering Society*, Japan).

Daerah pegunungan berlereng terjal	0,75 ~ 0,9
Daerah Berbukit	0,7 ~ 0,8
Daerah bergelombang dan bersemak-semak	0,5 ~ 0,75
Daerah dataran yang digarap	0,45 ~ 0,6
Daerah pesawahan irigasi	0,7 ~ 0,8
Sungai di daerah pegunungan	0,75 ~ 0,85
Sungai yang 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 (1983 : 38)



Tabel 2.5. Koefisien Pengaliran didasarkan pada tata guna lahan

Diskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien aliran, C
<b>Business</b>	
Perkotaan	0,70 - 0,95
Pinggiran	0,50 - 0,70
<b>Perumahan</b>	
rumah tunggal	0,30 - 0,50
multiunit, terpisah	0,40 - 0,60
multiunit, tergabung	0,60 - 0,75
perkampungan	0,25 - 0,40
apartemen	0,50 - 0,70
<b>Industri</b>	
ringan	0,50 - 0,80
berat	0,60 - 0,90
<b>Perkerasan</b>	
aspal dan beton	0,70 - 0,95
batu bata, paving	0,50 - 0,70
<b>Atap</b>	0,75 - 0,95
<b>Halaman, tanah berpasir</b>	0,05 - 0,10
datar 2%	0,13 - 0,17
rata-rata, 2 - 7%	0,18 - 0,22
curam, 7%	0,25 - 0,35
<b>Halaman kereta api</b>	0,10 - 0,35
<b>Taman tempat bermain</b>	0,20 - 0,35
<b>Taman, perkuburan</b>	0,10 - 0,25
<b>Hutan</b>	
datar, 0 - 5%	0,10 - 0,40
bergelombang, 5 - 10 %	0,25 - 0,25
berbukit, 10 - 30%	0,30 - 0,60

Sumber : Suripin (2003:80)

Tabel 2.6. Koefisien-koefisien pengaliran dari buku pedoman yang diterbitkan oleh Texas Highway Departement

Inklinasi (%)	Land Use	Kondisi Permukaan tanah		Jenis tanah yang membentuk dataran			
		Dataran sedikit bergelombang		Pasir atau lempung pasir (lulus air)		tanah kehitam-hitaman atau kekuningan-kuningan (kedap air)	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Daerah dataran 0 ~ 1	Hutan			0,15	0,20	0,15	0,20
	Padang rumput			0,20	0,25	0,25	0,30
	Pertanian			0,25	0,35	0,30	0,40
Daerah bergelombang 1 ~ 3,5	Hutan			0,15	0,20	0,18	0,25
	Padang rumput	0,25	0,3	0,30	0,40	0,35	0,45
	Pertanian	0,40	0,45	0,45	0,65	0,50	0,75
Daerah perbukitan 3,5 ~ 5,5	Hutan			0,20	0,25	0,25	0,30
	Padang rumput			0,35	0,45	0,45	0,55
	Pertanian			0,60	0,75	0,70	0,85
daerah pegunungan	Hutan					0,70	0,80
	Tanah gundul					0,80	0,90

Sumber : Sosrodarsono (1977 : 39)

### 2.2.13. Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

Model hidrograf satuan sintesis telah banyak dikembangkan oleh para pakar, antara lain hidrograf satuan sintetik snyder yang dikembangkan berdasarkan karakteristik DAS di dataran tinggi Appalachian amerika serikat oleh F.F. Snyder pada tahun 1938 dengan luas DAS berkisar antara 30-30.000 km<sup>2</sup>. Dalam model hss Snyder termuat dua parameter non fisik yaitu  $C_t$  dan  $C_p$  harus ditentukan secara empiric, karena besarnya berubah-ubah antara daerah yang satu dengan daerah yang lain. Sehingga untuk lebih dapat diterima, maka model hss Snyder harus disesuaikan dengan karakteristik dan kondisi setempat.

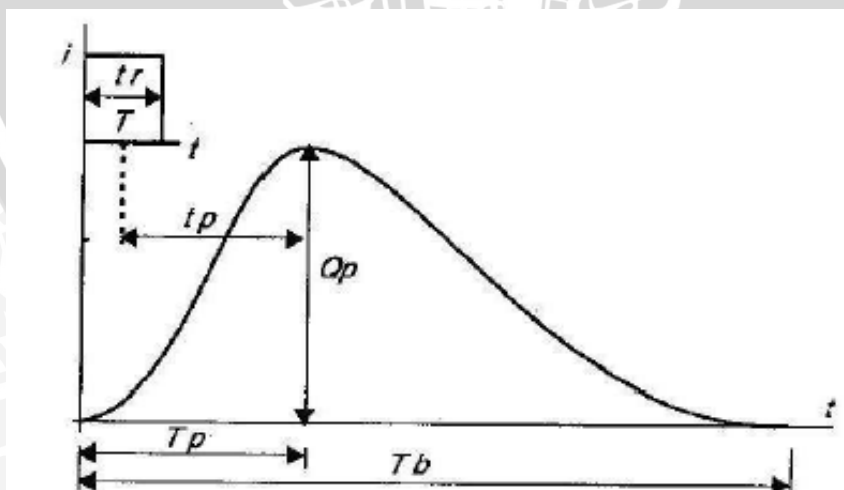
Snyder mengembangkan model koefisien-koefisien empiric yang menghubungkan unsur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik DAS. Hal tersebut didasarkan pada pemikiran bahwa pengalirragaman hujan menjadi aliran baik pengaruh translasi maupun tampungannya dapat dijelaskan dipengaruhi oleh system DAS nya (Sri Harto, 1993). Hidrograf satuan tersebut ditentukan dengan unsur antara lain  $Q_p$  (m<sup>3</sup>/d),  $T_b$  (jam),  $T_p$  (jam) dan  $T_r$  (jam). Unsur-unsur hidrograf tersebut dihubungkan dengan:

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

$L$  = panjang aliran sungai utama (km)

$L_c$  = panjang sungai utama diukur dari tempat pengukuran (pelepasan) sampai titik di sungai utama yang terdekat dengan titik berat DAS (km)

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



Gambar 2.14. Hidrograf satuan Sintesis Model Snyder  
Sumber : Soemarto, 1987



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

$$t_p = C_t (L L_c)^{0,3} \quad (2-18)$$

$$t_e = t_p/5.5 \quad (2-19)$$

$$t_p = C_t \cdot 0,75 (L L_c)^{0,3} \quad (2-20)$$

$$Q_p = 2,78 \cdot C_p \cdot A/t_p \quad (2-21)$$

$$t_b = 72 + 3t_p/24 \quad (2-22)$$

$$= (5,56/ q_{pR})$$

dimana :

$t_p$  = waktu antara titik berat curah hujan hingga puncak (*time lag*) (jam)

$T_p$  = waktu yang diperlukan antara permulaan hujan hingga mencapai puncak hidrograf

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

$t_b$  = waktu dasar (jam)

$q_{pR}$  = debit persatuan luas ( $m^3/d/km^2$ )

$t_r$  = lamanya hujan satuan (jam)

$tR$  = waktu dalam jam dari awal hingga akhir hujan bersih (jam)

Koefisien-koefisien  $C_t$  dan  $C_p$  harus ditentukan secara empiris, karena besarnya berubah-ubah antara daerah yang satu dengan daerah yang lain (bergantung pada satuan dan ciri DAS). Besarnya  $C_t = 0,75 - 3,00$ , sedangkan besarnya  $C_p = 0,9 - 1,4$  dimana bila nilai  $C_p$  mendekati nilai terbesar maka nilai  $C_t$  akan mendekati nilai terkecil, demikian sebaliknya (Wilson, 1993).

Sri Harto (1993) menyebutkan bahwa pemakaian cara Snyder ini dibatasi hanya untuk dataran tinggi Appalachian Amerika Serikat. Pemakaian cara tersebut untuk daerah lain diperlukan ralat dan penyesuaian. Snyder hanya membuat model untuk menghitung debit puncak dan waktu yang diperlukan untuk mencapai puncak dari suatu hidrograf saja, sehingga untuk mendapatkan lengkung hidrografnya memerlukan waktu untuk menghitung parameter-parameternya.

Rumus Snyder diatas hanya mendapatkan  $T_p, T_b$  dan  $Q_p$ . Untuk mempercepat pekerjaan tersebut diberikan rumus Alexejev, yang memberikan bentuk hidrograf satuannya. Persamaan Alexejev adalah sebagai berikut (Soemarto, 1995) :

$$1. X = t/T_p \quad (2-23)$$

$$2. Y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}} \quad (2-24)$$



$$a = 1,32 \lambda^2 + 0,15 \lambda + 0,045 \quad (2-25)$$

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

Belakangan ini banyak digunakan HSS Snyder yang yang telah diubah dan banyak digunakan di Indonesia (Soemarto, 1995). Perubahan tersebut terletak pada :

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

$$t_e = \frac{t_p}{5,5} \quad (2-26)$$

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

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

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

$$t_e < t_r \quad \text{maka } T_p = t_p + 0,5$$

4.  $q_p = 0,278 C_p / T_p \quad (2-27)$

maka  $Q_p = q_p \cdot A$  untuk hujan 1mm/jam

dimana :

$q_p$  = puncak hidrograf satuan ( $\text{m}^3/\text{d}/\text{mm}/\text{km}^2$ )

$Q_p$  = debit puncak ( $\text{m}^3/\text{d}/\text{mm}$ )

$t_p$  = waktu antara titik berat curah hujan hingga puncak hidrograf (jam)

$T_p$  = waktu yang diperlukan antara permulaan hujan hingga mencapai puncak hidrograf (jam)

Dari teori-teori yang ada, maka model hss snyder perlu dikembangkan untuk mempermudah pemakaiannya.

#### 2.2.14. Hidrograf Satuan Sintesis *Nakayasu*

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

- 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*)
- Luas daerah aliran sungai
- Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*)
- Koefisien pengaliran.

Rumus dari hidrograf satuan Nakayasu adalah:

$$Q_p = \frac{A R_o}{3,6 (0,3 T_p + T_{0,3})} \quad (2-28)$$

dengan:

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

$R_o$  = 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 pengaliran sampai outlet

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

$$T_p = t_g + 0,8 t_r \quad (2-29)$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad (2-30)$$

$$T_r = (0,5 - 1) t_g \quad (2-31)$$

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

- Sungai dengan panjang alur  $L > 15$  km :  $t_g = 0,4 + 0,058 L$  (2-32)

- Sungai dengan panjang alur  $L < 15$  km :  $t_g = 0,21 L^{0,7}$  (2-33)

dengan :

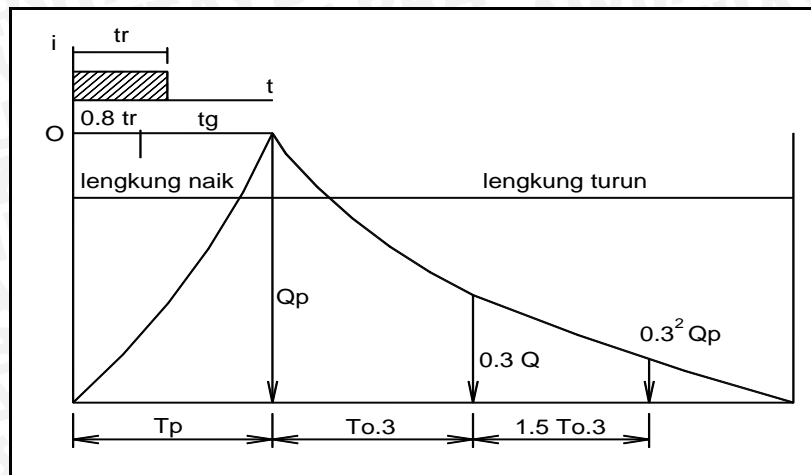
$t_r$  = Satuan Waktu hujan (jam)

$\alpha$  = Parameter hidrograf, untuk:

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

$\alpha = 1,5$  => Pada bagian naik hidrograf lambat, dan turun cepat

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



Gambar 2.15. Lengkung Debit Hidrograf Nakayasu  
Sumber: Triadmojo, 2008: 183

Pada waktu naik:  $0 < t < T_p$

$$Q_p = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} Q_p \quad (2-34)$$

dimana,

$Q_{(t)}$  = Limpasan sebelum mencari debit puncak ( $m^3$ )

$t$  = Waktu (jam)

Pada kurva turun (*decreasing limb*)

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

$$Q_{(t)} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}}} \quad (2-35)$$

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

$$Q_{(t)} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5 T_{0,3})}{1,5 T_{0,3}}} \quad (2-36)$$

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

$$Q_{(t)} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+1,5 T_{0,3})}{2,0 T_{0,3}}} \quad (2-37)$$

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

Hidrograf banjir dihitung dengan persamaan sebagai berikut



$$Q_k = \sum_{i=1}^n U_i \cdot P_{n-(i-1)} \quad (2-38)$$

dimana :

$Q_k$  = Debit Banjir pada jam ke - k

$U_i$  = Ordinat hidrograf satuan ( $i = 1, 2, 3 \dots n$ )

$P_n$  = Hujan netto dalam waktu yang berurutan ( $n = 1, 2, \dots n$ )

$B_f$  = Aliran dasar (*base flow*)

### 2.3. Analisa Profil Aliran

Elevasi muka air pada alur sungai perlu dianalisis untuk mengetahui pada bagian (*section*) manakah terjadi luapan pada alur sungai, sehingga dapat ditentukan dimensi untuk perbaikan sungai.

Sebagai alat bantu untuk menganalisa profil muka air digunakan program HEC-RAS versi 4.1.0 untuk kondisi aliran steady (tanpa pengaruh bangunan) dan unsteady (dengan pengaruh bangunan). Paket model HEC-RAS adalah salah satu model yang dikeluarkan oleh U.S. Army Corps of *Engineering River Analysis System* (HEC-RAS) yang disusun oleh *Hydrologic Engineering Center*. Software ini memiliki kemampuan penggunaan : perhitungan jenis aliran *Steady Flow* dan *Unsteady Flow* satu dimensi, dan *Sediment Transport*.

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.

Secara umum HEC-RAS dapat dipakai untuk menghitung aliran tunak berubah perlahan dengan penampang saluran prismatic atau non-prismatic, baik untuk aliran sub-kritis maupun super-kritis. Disamping itu HEC-RAS juga dipakai untuk menghitung saluran gabungan (*compound channel*)

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

Paket program HEC-RAS dapat menghitung profil muka air dengan proses iterasi dari data masukan yang sudah kita olah sesuai dengan kriteria dan standar yang diminta oleh program ini.

Sistem HEC-RAS meliputi tiga perhitungan analisa hidrolis satu dimensi yaitu:

- Perhitungan profil muka air steady flow (*steady flow water surface profile computation*)
- Unsteady Flow analysis*
- Analisa Moveable boundary sediment Transport*

Element yang dibutuhkan untuk ketiga perhitungan diatas adalah data geometrik dan data hidrolis.

### 2.3.1. Persamaan Energi

Persamaan energi digunakan sebagai dasar perhitungan untuk aliran steady dalam saluran terbuka, diberikan oleh persamaan berikut ini :

$$Y_1 + \alpha \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = Y_2 + \alpha \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f + h_e \quad (2-39)$$

Dengan :

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/det^2$ )

$h_f$  = kehilangan tinggi akibat gesekan

$h_e$  = kehilangan tinggi akibat perubahan penampang (m)

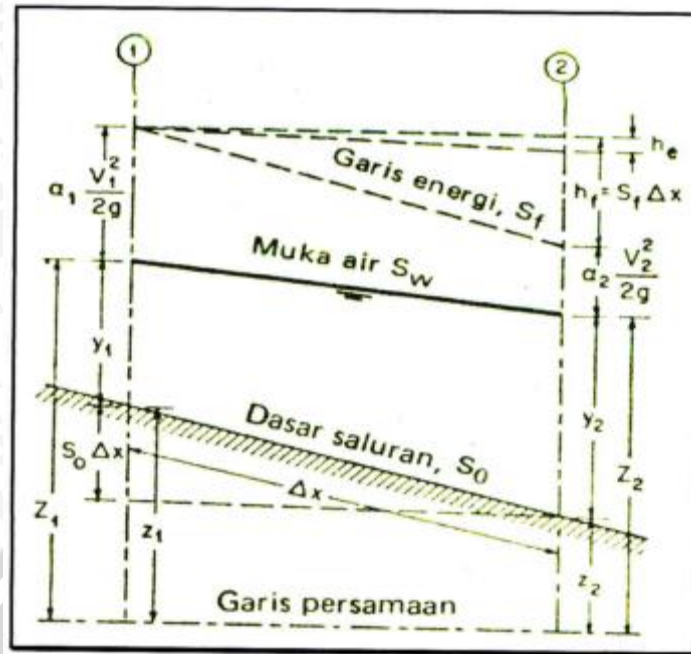
$V$  = kecepatan rerata (m/det)

$\alpha$  = koefisien distribusi kecepatan

$z$  = ketinggian air dari datum (m)

$h$  = kedalaman air (m)





Gambar 2.15. Energi dalam saluran terbuka

Sumber : Chow, 1997 :239

### 2.3.2. 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 :

$$h_f = L \cdot S_f \quad (2-40)$$

$$S_f = \left( \frac{Q}{K} \right)^2 \quad (2-41)$$

$$S_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} \quad (2-42)$$

Dengan :

$h_f$  = kehilangan energi akibat gesekan (m)

$L$  = jarak antara sub bagian (m)

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

$K$  = pengangkutan aliran tiap sub bagian

$Q$  = debit air ( $m^3/det$ )

Adapun kehilangan tinggi energi akibat perubahan diakibatkan oleh dua kejadian, yaitu kontraksi dan ekspansi. Kontraksi dan ekspansi terjadi akibat *back water* yang disebabkan oleh perubahan penampang atau perubahan kemiringan dasar saluran yang



sangat curam sekali. Kehilangan tinggi energy akibat kontraksi dan ekspansi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$h_c = C \left| \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} \right| \quad (2-43)$$

Dengan :

C= koefisien akibat kehilangan tinggi kontraksi dan ekspansi

Program ini mengasumsikan bahwa kontraksi terjadi jika kecepatan di hilir lebih tinggi jika dibandingkan dengan kecepatan di hulu, sedangkan ekspansi terjadi jika kecepatan dihilir lebih tinggi jika dibandingkan dengan kondisi di hulu.

### 2.3.3. 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 *manning* ( $n$ ) sebagai dasar pembagian penampang melintang.

Pengangkutan aliran  $K_j$  dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$K_j = \frac{1,49}{n_j} \cdot A_j \cdot R_j^{2/3} \quad (\text{dalam satuan inggris}) \quad (2-44)$$

$$K_j = \frac{1}{n_j} \cdot A_j \cdot R_j^{2/3} \quad (\text{dalam satuan metrik}) \quad (2-45)$$

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

$$K_t = \sum_{j=1}^n K_j \quad (2-46)$$

Dengan :

$n$  = jumlah sub bagian pada suatu penampang melintang sungai

### 2.3.4. Koefisien Kekasaran

Aliran pada suatu penampang melintang tidak dibagi menjadi beberapa sub bagian, kecuali terjadi perubahan pada area saluran utama. Program ini akan menerapkannya dalam perhitungan penampang melintang. Jika tidak dapat diterapkan, maka dihitung

satu nilai kekasaran untuk seluruh bagian sungai. Untuk perhitungan kekasaran *Manning* ( $n$ ), dimana pada setiap bagian sub bagian diketahui parameter basah  $P_i$  dan koefisien kekasarannya  $n_i$ .

$$n_c = \left| \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot n_i^{1,5}}{P} \right|^{2/3} \quad (2-47)$$

Dengan :

$n_c$  = koefisien kekasaran komposit

$P$  = parameter basah untuk saluran utama

$P_i$  = parameter basah untuk sub bagian ke- $i$

$n_i$  = koefisien kekasaran untuk sub bagian ke- $i$

### 2.3.5. Persamaan Kontinuitas

Dasar persamaan kontinuitas unsteady flow pada saluran terbuka diturunkan pada persamaan berikut (Raju, Rangga, K.G, 1989 : 9) :

$$\frac{dQ}{dx} + \frac{dA}{dt} = 0 \quad (2-48)$$

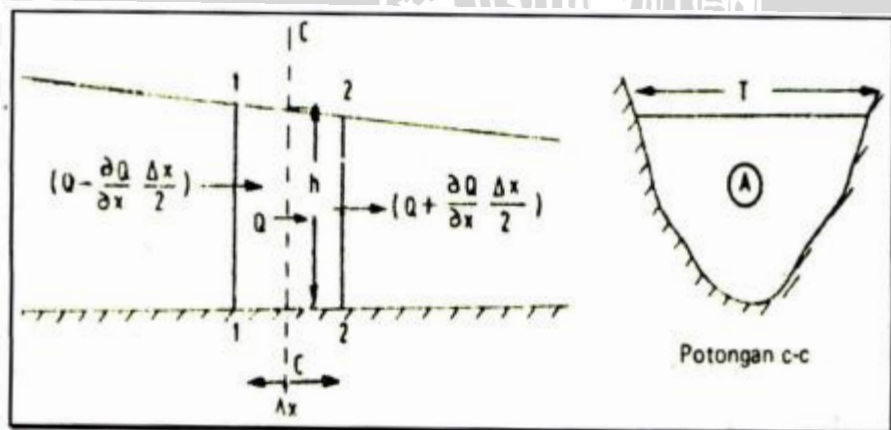
Dengan :

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

$x$  = panjang pias (m)

$A$  = luas penampang ( $m^2$ )

$t$  = waktu (detik)



Gambar 2.16. Kontinuitas aliran tak tetap  
Sumber : Raju, Rangga, K.G, 1989 : 9



### 2.3.6. Persamaan Momentum

Persamaan momentum menyatakan bahwa pengaruh dari semua gaya luar terhadap volume kontrol dari cairan dari setiap arah sama dengan besarnya perubahan momentum dalam arah tersebut (Raju, 1986 : 11) :

$$\sum F_x = \rho \cdot Q \cdot \Delta U \quad (2-49)$$

$$W \sin \theta + P_1 - P_2 - F_f - F_a = \rho \cdot Q (U_2 - U_1) \quad (2-50)$$

Dengan :

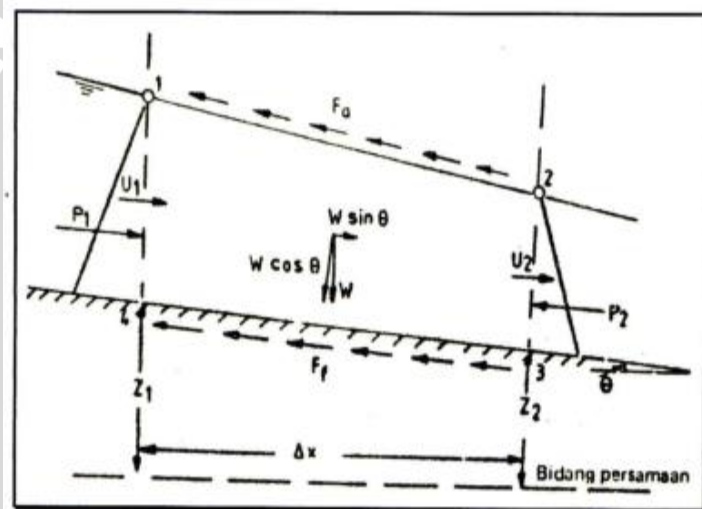
$P_1$  dan  $P_2$  = muatan hidrostatis pada potongan 1 dan 2

$W$  = berat volume control

$\theta$  = kemiringan dasar terhadap garis horizontal

$F_f$  = gesekan batas terhadap panjang  $\Delta x$

$F_a$  = tahanan udara pada permukaan beba



Gambar 2.17. Prinsip momentum pada saluran terbuka  
Sumber : Raju, 1986 : 10

### 2.3.7. Geometri Data

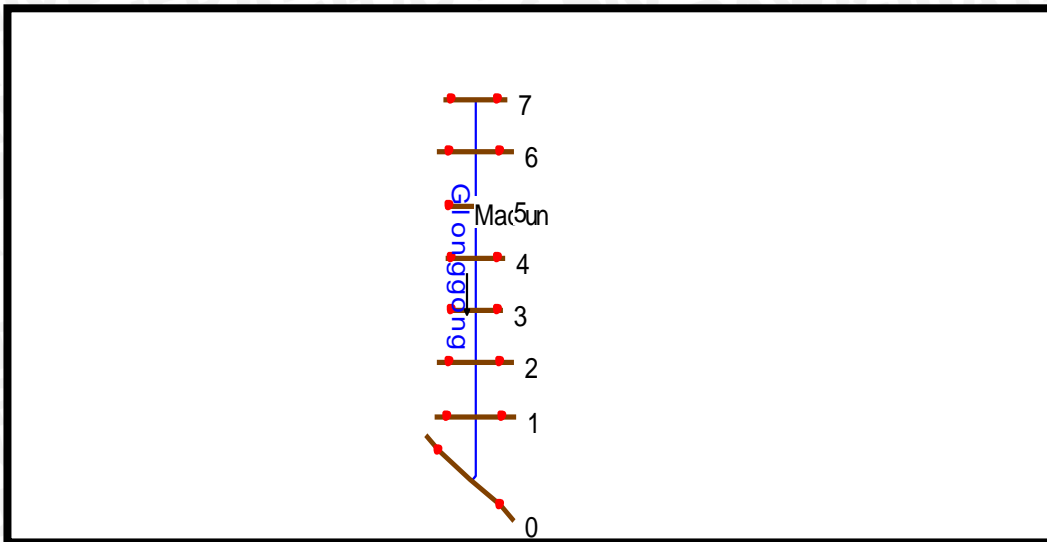
Data utama yang dibutuhkan pada suatu system sungai antara lain data potongan melintang sungai, jarak antara potongan melintang (panjang jangkauan), koefisien kehilangan energi, dan data pada percabangan sungai.

### 2.3.8. Skema Sistem Sungai

Skema sungai menggambarkan berbagai variasi jangkauan sungai yang saling berhubungan. Pada program ini, skema sistem sungai merupakan data awal yang dibutuhkan sebelum data lain dimasukkan.

Setiap penampang sungai pada skema sistem sungai diberi nama stasiun sebagai identifikasi yang dapat berupa nama sungai dan nomor stasiun dimana penampang melintang sungai itu berada.





Gambar 2.18. Data Geometri pada HEC-RAS

Sumber : Hec-Ras 4.1

a. Koefisien kekasaran *manning*

Untuk menentukan angka kekasaran manning dihitung berdasarkan kondisi sungai. Angka kekasaran Manning tersebut ditentukan berdasarkan rumus COWAN (Chow, 1997 : 96).

$$n = m (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \quad (2-51)$$

dengan :

$n_b$  = nilai dasar untuk saluran lurus, seragam dan alamiah menurut bahan-bahan alamiah

$n_1$  = nilai untuk koreksi efek ketidakrataan permukaan

$n_2$  = nilai untuk variasi bentuk dan ukuran penampang saluran

$n_3$  = nilai untuk kondisi tetumbuhan dan aliran

$m$  = faktor koreksi untuk belokan-belokan saluran

Tabel 2.7. Nilai Koefisien Kekasaran Manning

Keadaan Saluran	Nilai-nilai		Nilai N
Bahan pembentuk	Tanah	nb	0.020
	Batu pecah		0.025
	Kerikil Halus		0.024
	Kerikil Kasar		0.028
Derajat Ketidakrataan	Sangat Kecil	n1	0.000
	Sedikit		0.005
	Sedang		0.010
	Besar		0.020
Variasi Penampang Melintang Saluran	Bertahap	n2	0.000
	Kadang berganti		0.005
	Sering berganti		0.110-0.015

Keadaan Saluran	Nilai-nilai		Nilai N
Efek relatif dari hambatan	Dapat diabaikan	n3	0.000
	Kecil		0.010-0.015
	Cukup		0.020-0.030
	Besar		0.040-0.050
Tetumbuhan	Rendah	n4	0.005-0.010
	Sedang		0.010-0.025
	Tinggi		0.025-0.050
	Sangat tinggi		0.050-0.100
Derajat Kelokan	Kecil	m	1.000
	Cukup		1.150
	Besar		1.300

Sumber : Chow, 1997 : 98

#### b. Jarak jangkauan

Ukuran jarak antara potongan melintang diberikan dengan jarak jangkauan. Jarak jangkauan antara potongan melintang untuk saluran kiri, utama, dan kanan memiliki jarak yang sama pada sungai yang lurus. Namun ada beberapa kondisi dimana ketiga saluran tersebut memiliki jarak yang berbeda, misalnya pada belokan sungai.

#### c. Koefisien Kontraksi dan Ekspansi

Kontraksi dan ekspansi terjadi akibat adanya *back water* yang disebabkan oleh perubahan penampang dan perubahan kemiringan dasar saluran yang sangat curam sekali. Angka koefisien kontraksi dan ekspansi yang disunakan pada studi ini adlaah angka koefisien.

Table 2.8. Koefisien Kontraksi dan Ekspansi untuk aliran subkritis

Kondisi	Kontraksi	Ekspansi
<i>No Transition Loss Computed</i>	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 :Chow, 1988 : 99

#### 2.3.9. Data aliran tetap (*steady flow*)

Data aliran ini diberikan untuk menampilkan perhitungan profil muka air. Data aliran ini terdiri dari : kondisi batas dan informasi debit puncak.

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

Kondisi batas diperlukan untuk menetapkan permukaan air pada akhir dari sistem sungai (hulu dan hilir). Terdapat empat macam kondisi batas :

##### 1. Elevasi muka air yang diketahui

Kondisi batasnya merupakan elevasi muka air yang diketahui untuk setiap potongan melintang yang akan dihitung.

#### 2. Kedalaman kritis

Jika kondisi batas ini dipilih, maka program akan menghitung kedalaman kritis untuk setiap potongan melintang dengan sendirinya dan akan menggunakan sebagai kondisi batas.

#### 2. Kedalaman normal

Untuk tipe kondisi batas ini, harus diketahui energi kemiringan yang akan digunakan pada perhitungan kedalaman kritis (menggunakan persamaan *manning*). Pada umumnya energi kemiringan didapat dengan pendekatan rata-rata kemiringan saluran atau rata-rata kemiringan muka air pada penampang potongan melintang sungai.

#### 4. Rating kurva (*Rating Curve*)

Kondisi batas yang digunakan adalah kurva hubungan debit dengan elevasi. Untuk setiap penampang melintang elevasi diperoleh dengan cara menginterpolasi dari rating kurva (*rating curve*) dengan memasukkan besarnya debit.

#### b. Informasi debit puncak

Informasi debit ini digunakan untuk menghitung profil muka air. Data debit yang dimasukan mulai dari daerah hulu sampai daerah hilir untuk setiap jangkauan. Nilai debit yang dimasukan pada bagian hulu diasumsi akan konstan pada penampang berikutnya kecuali nilai debit berubah untuk penampang tersebut.

### 2.4. Angkutan Sedimen

Sumber utama dari material yang menjadi endapan fluvial adalah pecahan dari batuan kerak bumi. Peristiwa ini disebut dengan disintegrasi yang prosesnya dapat secara fisik atau kimia. Sebagai akibat proses tersebut adalah terbentuknya butiran tanah dengan berbagai macam sifat yang berbeda, tergantung dari keadaan iklim, topografi, jenis batuan, waktu dan organisme. Tingkat terkikisnya permukaan tanah tidak hanya tergantung pada ukuran partikelnya akan tetapi juga tergantung pada sifat fisik bahan organik dan anorganik yang terikat bersama partikel tersebut. Apabila partikel tanah tersebut terkikis dari permukaan bumi atau palung sungai maka material yang dihasilkan akan bergerak atau berpindah menurut arah aliran yang membawanya menjadi angkutan sedimen.

Pengetahuan mengenai angkutan sedimen yang terbawa oleh aliran sungai dalam kaitannya dengan besar aliran sungai akan mempunyai arti penting bagi kegiatan pengembangan dan manajemen sumber daya air, konservasi tanah dan perencanaan



bangunan pengamanan sungai. Pengetahuan mengenai sedimen akan memungkinkan untuk dilakukannya pengukuran sedimen yang melayang terbawa aliran ataupun sedimen yang bergerak di dasar sungai. Adanya gejala kompleks pada peristiwa sedimentasi akan menyebabkan sulitnya untuk melakukan pengukuran dan analisa data mengenai sedimen.

Poses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi (angkutan), pengendapan (*deposition*) dan pemadatan (*compaction*) dari sedimentasi itu sendiri. Proses tersebut berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen. Bentuk, ukuran dan beratnya partikel tanah tersebut akan menentukan jumlah besarnya angkutan sedimen.

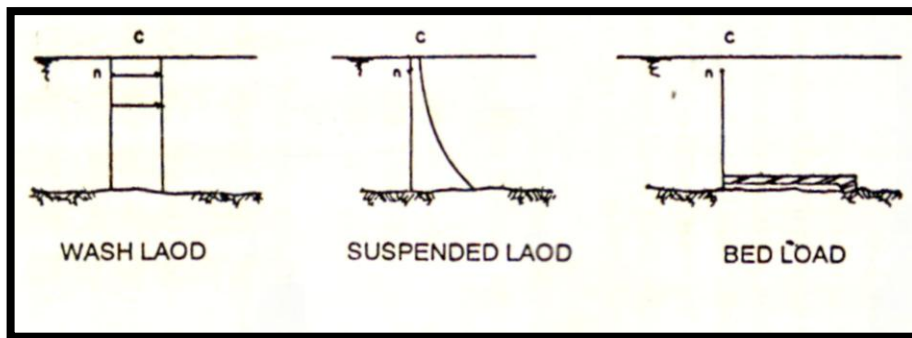
#### **2.4.1. Pembagian Angkutan Sedimen**

Dasar sungai biasanya tersusun oleh endapan dari material angkutan sedimen yang terbawa oleh aliran sungai, material tersebut dapat terangkut kembali apabila terjadi kenaikan kecepatan aliran cukup tinggi. Besarnya volume angkutan sedimen tergantung dari pada perubahan kecepatan aliran dan adanya kegiatan di palung sungai. Sebagai akibat dari perubahan volume angkutan sedimen adalah terjadinya penggerusan di beberapa tempat serta terjadinya pengendapan di tempat lain pada dasar sungai sehingga dengan demikian bentuk dari dasar sungai akan selalu berubah. Untuk memmperkirakan perubahan itu telah dikembangkan banyak rumus berdasarkan percobaan lapangan maupun di laboratorium. Walaupun demikian perhitungan tidak cukup teliti, karena:

1. Interaksi antara aliran dan angkutan sedimen adalah sangat kompleks dan oleh karena itu sulit untuk dirumuskan secara matematis.
2. Pengukuran angkutan sedimen sulit dilaksanakan dengan teliti, sehingga rumus angkutan sedimen tidak dapat dicek dengan baik.

Pengukuran angkutan sedimen seperti juga pengukuran kecepatan aliran yaitu dilakukan dengan cara mcngambil contoh dari seluruh mekanisme angkutan sedimen. Karena sangat kompleksnya perilaku sedimen maka pengambilan contoh sedimen yang teliti dan benar juga sangat sulit dilaksanakan.

Angkutan sedimen dapat diklasifikasikan berdasarkan pembagian sebagaiberikut:



Gambar 2.19. Klasifikasi angkutan sedimen.  
Sumber: Anonim

Pada sungai aluvial besarnya angkutan dasar (*bed material*) tergantung pada kondisi hidrolis. Angkutan dasar yang terangkut dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *bed load* dan *suspended load*. Di samping angkutan dasar juga ada angkutan sedimen sangat halus yang disebut dengan *wash load*. Materialnya tidak berasal dari dasar sungai, oleh karena itu besarnya volume *wash load* tidak tergantung pada kondisi hidrolis sungai akan tetapi tergantung pada kondisi lahan daerah aliran sungai. Jumlah total ketiga jenis angkutan sedimen tersebut adalah merupakan debit sedimen total.

#### 1. Wash Load

*Wash load* adalah angkutan partikel halus yang dapat berupa lempung (*silk*) dan debu (*dust*), yang terbawa oleh aliran sungai. Partikel ini akan terbawa aliran sampai ke laut, atau dapat juga mengendap pada aliran yang tenang atau pada air yang tergenang. Sumber utama dari *wash load* adalah hasil pelapukan lapisan atas batuan atau tanah di dalam daerah aliran sungai. Hasil pelapukan itu akan terbawa oleh aliran permukaan atau angin ke dalam sungai di dalam DAS tersebut.

*Wash load* dengan jumlah yang besar dapat ditemui pada awal musim hujan, saat muka air sungai mulai naik. Besar volume *wash load* yang terbawa aliran sungai tidak terbatas, kadang-kadang dapat merubah *viscositas* air sungai, pada keadaan demikian yang terlihat hanyalah aliran lumpur. Walaupun secara kuantitatif volumenya besar tetapi terhadap perilaku sungai pengaruhnya kecil.

Tidak ada bentuk hubungan yang pasti antara besar aliran dan volume *wash load*. Penyebaran konsentrasi *wash load* di dalam suatu garis kedalaman adalah *uniform*, kecuali perbedaan konsentrasi akibat dari aliran turbulen.

Untuk mengukur *wash load* adalah mudah akan tetapi diperlukan analisa laboratorium untuk menentukan tingkat konsentrasi *wash load* berdasarkan contoh pengukuran lapangan. *Wash load* hanya dapat diambil dengan alat ukur sedimen yang dapat

menangkap ukuran partikel lebih kecil dari 50 mikro meter hanya menggunakan alat ukur sedimen *US Depth-Integrating* atau *US Point-Integrating Sampler*. Pada umumnya hanya dapat diperkirakan penyebaran di arah vertikalnya sama, akan tetapi penyebaran ke arah horizontalnya sangat bervariasi. Dengan analisa laboratorium ukuran butir partikelnya juga dapat ditentukan. Apabila dipandang dari ukuran butir seluruh angkutan sedimen maka ukuran butir *wash load* adalah yang paling kecil.

## 2. *Suspended load*

*Suspended load* dapat dipandang sebagai material dasar sungai (*bed material*) yang melayang di dalam aliran dan terdiri terutama dari butir pasir halus yang senantiasa mengambang di atas dasar sungai, karena selalu didorong ke atas oleh turbulensi aliran. Pada bagian yang pendek di alur sungai, *suspended load* dapat dianggap tetap konsentrasinya. Pada seluruh panjang sungai konsentrasi *suspended load* akan sangat bervariasi, oleh karena partikelnya akan mengendap sedangkan pada suatu bagian lain akan terangkut dari dasar sungai dengan jumlah yang berbeda. Kecepatan aliran pada saat mengangkut lebih besar jika dibandingkan pada saat inendapkan partikel, dengan demikian ada suatu bentuk hubungan antara besar aliran dengan konsentrasi sedimen, walaupun hubungan tersebut mempunyai angka korelasinya rendah. Titik maksimum konsentrasi *suspended load* biasanya tidak bersamaan waktunya dengan kejadian puncak hidrograf aliran. Untuk mengukur *suspended load* dapat digunakan alat ukur sedimen *US Depth-Integrating* atau *US Point-Integrating Sampler*. Data *suspended load* sangat penting artinya di dalam permasalahan pengendapan di waduk, karena akan mempengaruhi umur waduk.Z

Partikel sedimen tetap melayang di dalam aliran sungai apabila aliran itu turbulen, akan tetapi apabila aliran laminar maka konsentrasi sedimen akan berkurang dari waktu ke waktu dan akhirnya mengendap, sama seperti apabila keadaan aliran sungai itu tidak mengalir, seperti misalnya alirannya menggenang.

Umumnya aliran sungai keadaannya adalah turbulen, oleh karena itu tenaga gravitasi partikel sedimen dapat ditahan oleh gerakan turbulensi aliran dan putaran arus (*eddies*) yang akan membawa partikel sedimen kembali ke atas. Dari uraian itu jelas bahwa angkutan sedimen suspensi dapat dibedakan menjadi tiga keadaan:

(1) Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen lebih besar dari pada tenaga turbulensi aliran, maka partikel sedimen akan mengendap dan akan terjadi agradasi pada dasar sungai.



(2) Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen sama dengan tenaga turbulensi aliran, maka akan terjadi keadaan seimbang (*equilibrium*) dan partikel sedimen tersebut tetap konstan terbawa aliran sungai ke arah hilir.Z

(3) Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen lebih kecil dari pada tenaga turbulensi aliran, maka dasar sungai akan terkikis dan akan terjadi degradasi pada dasar sungai. Secara umum dapat dikatakan bahwa permasalahan angkutan sedimen suspensi sangat membingungkan (*extremly complicated*) karena sifat fisik dari partikel sedimen dan jumlah material angkutan sedimen sangat berbeda-beda dari tempat satu ke tempat yang lain maupun dari waktu ke waktu. Demikian juga tentang turbulensi aliran merupakan variabel yang tidak dapat diukur sehingga hal itu akan menambah rumitnya permasalahan angkutan sedimen suspensi.

### 3. Bed Load

Partikel kasar yang bergerak di sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan *bed load*. Adanya *bed load*, ditunjukkan oleh gerakan partikel di dasar sungai yang ukurannya besar, gerakan itu dapat bergeser, menggelinding atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Gerakan ini kadang-kadang meliputi lapisan dasar sungai ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut yang bergerak bersama-sama ke arah hilir. Keadaan ini dapat dijumpai pada daerah yang materialnya berasal dari gunung api dimana umumnya material dasar terdiri dari pasir, misalnya alur sungai di hulu DAS Brantas, DAS Opak, DAS Citanduy di daerah gunung Galunggung. Pada umumnya alur sungai di bagian hulu angkutan *bed load* merupakan bagian yang terbesar dari seluruh jumlah angkutan sedimen. Kualitas dan kuantitas material yang terbawa oleh aliran di sepanjang dasar sungai tergantung pada penyebaran erosi di daerah pegunungan dan juga tergantung dari derajat kemiringan lereng, struktur geologi dan vegetasi. Dapat dikatakan bahwa apabila pada DAS yang bersangkutan kondisi batuan jenis keras dan tidak mudah pecah akibat proses erosi maka material *bed load* terdiri dari partikel besar. Apabila kondisi batuan jenis lunak dan mudah pecah oleh proses erosi maka material *bed load* nya terdiri dari partikel yang ukurannya tidak lebih besar dari ukuran pasir.

Tenaga yang pertama-tama menggerakkan partikel adalah tenaga tarik (*dragforce*) aliran yang dengan besar gaya tertentu dapat menggerakkan partikel *bed load* di sepanjang dasar sungai. Pada umumnya dasar sungai merupakan tempat persediaan material *bed load* yang tidak terbatas. Apabila daya tarik tersebut berkurang maka

jumlah partikel yang terangkut juga berkurang. Material *bed load* yang terangkut sangat penting di dalam pembentukan bentuk dasar sungai.

#### 2.4.2. Einstein

Einstein menetapkan persamaan *bed load* sebagai persamaan yang menghubungkan gerak material dasar dengan pengaliran setempat. Persamaan itu menggambarkan keadaan kesetimbangan dari pada pertukaran butiran dasar antara lapisan dasar (*bed layer*) dan dasarnya.

Einstein menggunakan  $D=D_{35}$  untuk parameter angkutan, sedangkan untuk kekasaran digunakan  $D_{65}$ . hubungan antara kemungkinan butiran akan terangkut dengan intensitas angkutan *bed load* dijabarkan sebagai berikut:

$$s = \Phi (g \cdot \Delta \cdot D_{35}^3)^{1/2} \quad (2-52)$$

$$\Phi = 0.044638 + 0.36249\Psi' - 0.226795\Psi'^2 + 0.036\Psi'^3 \quad (2-53)$$

dengan,

$$\Psi' = \mu \cdot R \cdot I / \Delta \cdot D_{35}; \Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w \quad (2-54)$$

ripple factor;  $\mu = (C/C')^{3/2}$ .

$$C' = 18 \log 12R/D_{65}; C = u/(R \cdot I)^{1/2} \quad (2-55)$$

#### 2.5. Sistem Pengendalian Banjir

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 didaerah cekungan
- e. Faktor kerusakan lingkungan, misalnya penggundulan hutan di daerah hulu yang berfungsi sebagai daerah resapan air.

Persoalan banjir itu telah ada, dan sejak itu pula manusia telah berusaha mengurangi kerugian-kerugian yang disebabkan oleh banjir. Upaya pengendalian banjir (*Flood Control*) untuk mengurangi pengaruh air yang berlebihan pada sungai tersebut dapat dilakukan dengan beberapa metode dibawah ini :

- a. Pengurangan aliran dalam suatu alur yang ditetapkan dengan tanggul, dinding penahan (parafet) banjir, atau suatu aliran tertutup.
- b. Penurunan muka air banjir dengan perbaikan alur sungai.
- c. Pengaliran air banjir melalui saluran banjir (*floodway*) kedalam 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 dibagian hulu biasanya arus banjirnya deras, daya gerusnya besar, etappi durasinya pendek. Sedangkan dibagian 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.

### 2.5.1. Perbaikan 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 sugai) kemiringan memnajang sungai dan rencana penempatan bangunan-bangunan sungai (Sosrodarsono, 1985 : 328).

#### a. Debit Banjir Rencana

Debit banjir ( $Q_0$ ) dapat dihitung menggunakan bebrapa metode yang ada, seperti menggunakan hidrograf satuan sintetik 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 :

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_0 \quad (2-56)$$

Dalam perhitungan tersebut , keceptan aliran banjir dianggap konstan, walaupun konsesntrasi sedimennya tinggi.

#### b. Lebar Rencana Sungai

Seandainya lebar sungai diperkecil, maka kemungkinan terjadinya limpasan atau jebolnya tanggul akan semakin besar, karena daa tamping sungai akan berkurang. Disamping itu kemungkinan dapat terjadi penurunan dasar sungai yang membahayakan pondasi bangunan-bangunan sungai, mengingat sungai yang semakin dalam mempunya daya tarik yang semakin besar. Sebaliknya apabila lebar sungai diperbesar, maka lintasan aliran air sungai semakin tidak teratur, sehingga lintasan aliran banjir tidak



dapat dipastikan. Berdasarkan hal-hal tersebut, maka penentuan lebar rencana sungai adalah merupakan salah satu tahap perencanaan peraian dan pengaturan sunga yang paling penting.

Rumus Altunin's mengemukakan pengaruh dari lebar sungai ( $B$ ) pada rentang belokan tergantung pada besarnya debit aliran ( $Q$ ) dan slope ( $I$ ) pada bagian belokan tersebut, rumus dari altunin ini umumnya sesuai dan dapat diterapkan pada kebanyakan sungai,

$$B = \frac{A \cdot Q^{0.5}}{I^{0.2}} \quad (2-57)$$

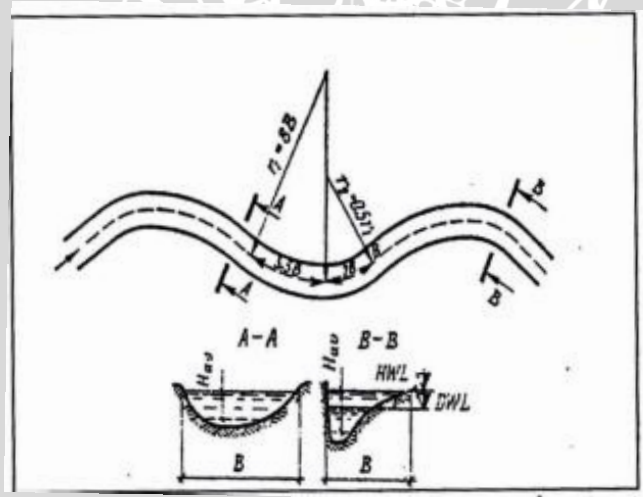
Dengan :

$A$  = Koefisien, untuk arus deras  $A : 0,7-0,9$  Untuk arus rendah dengan dasar berupa pasir dan tanah liat  $A = 1,1-1,7$

Menurut S.T. Altunin, dasar sungai yang stabil adalah seperti diperlihatkan pada gambar meander sungai berikut (gambar 2.14). Kestabilan sungai dibentuk berdasarkan kurva dengan radius yang bervariasi berdasarkan lebar panampang sungainya, yaitu :

$$r_{\max} \geq 8B \quad (2-58)$$

$$r_{\min} \geq 4,5B \quad (2-59)$$



Gambar 2.20. Alinyemen suatu sungai yang stabil

Sumber : Anonim

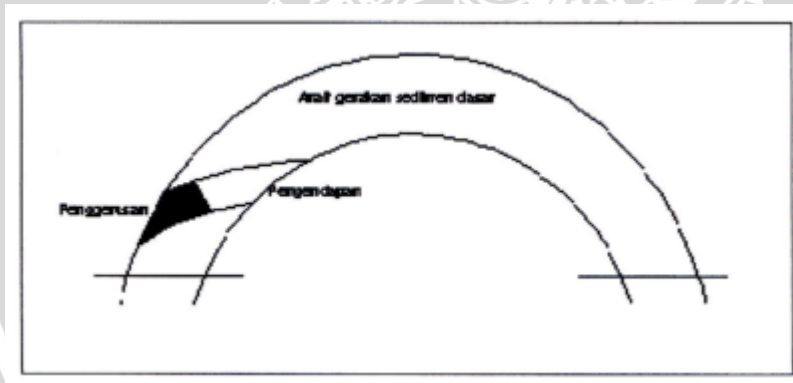
### c. Bentuk penampang sungai

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

#### d. Kemiringan memanjang

Sebaiknya kemiringan dasar sungai didaerah kipas pengendapan tidak perlu dirubah. Kalopun harus diadakan perubahan seyogyanya tidak dilaksanakan secara drastis, tetapi sedikit demi sedikit. Selanjutnya apabila secara mendadak kemiringan dasar sungai menjadi lebih landai, maka pada titik transisinya (TB) terjadi proses pengendapan dan tentulah akan diikuti dengan penyempitan penampang basah sungai serta diwaktu banjir dapat terjadi luapan-luapan yang dapat menimbulkan genangan-genangan disekitar lokasi tersebut. (Sosrodarsono, 1985 : 332).

Pada umumnya meander sungai akan mempunyai kemiringan dasar yang sangat landai. Dasar sungai pada sisi luar belokan umumnya kana lebih dalam Karena adanya kecepatan yang lebih besar pada sisi luar belokan tersebut. Besarnya kecepatan arus melintang ini berkisar antara 10-15% dari kecepatan pada arah utama aliran, dengan ciri bahwa didekat permukaan arus melintang bergerak ke arah belokan luar dan didekat 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.



Gambar 2.20. Kondisi alur sungai pada belokan

Sumber : Anonim

#### e. Perhitungan Kecepatan maksimum di belokan

$$V_o = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (2-60)$$

Dari grafik 2.13 dan 2.14 diperoleh :

$$\Delta x 10^2 \text{ dan } \frac{2x}{B} = a, \text{ Sehingga}$$

$$\frac{V_b}{V_o} = a$$



Dengan :

$V_b$  = Kecepatan maksimum pada belokan luar

$V_o$  = Kecepatan pada bagian sungai yang lurus

$a$  = Dari grafik 2.21 dan 2.22.

Tegangan geser merupakan fungsi kuadrat dari kecepatan

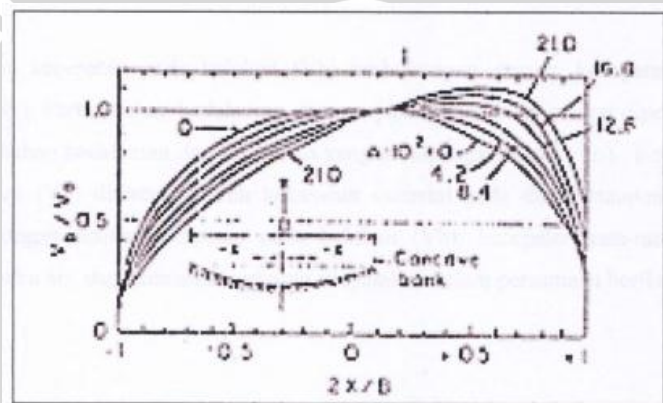
$$\frac{\tau_b}{\tau_o} = \frac{V_b^2}{V_o^2} \quad (2-61)$$

Dengan :

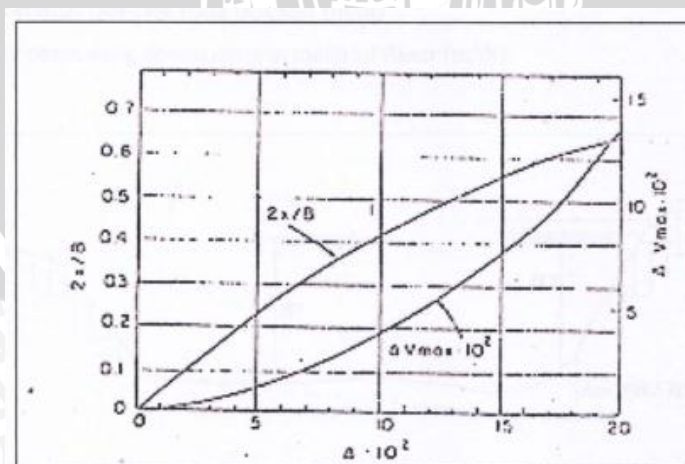
$\tau_b$  = Tegangan geser pada belokan luar

$\tau_o$  = Tegangan geser pada bagian sungai lurus

Jika kecepatan dan tegangan geser pada belokan luar mengalami peningkatan maka akan terjadi gerusan.



Gambar 2.21 Grafik koefisien kecepatan (a) pada belokan luar  
Sumber : Legono, Djoko : Teknik Sungai : 38



Gambar 2.22. Grafik Koefisien Kecepatan (b) pada belokan luar  
Sumber : Legono, Djoko : Teknik Sungai : 38



f. Metode Perhitungan kedalaman gerusan pada penampang sungai

Metode ini berasumsi bahwa gerusan terjadi pada bagian melintang sungai sampai kecepatan rata-rata berkurang atau menjadi kecil dan tidak menimbulkan perpindahan material dasar pada dasar sungai. Metode ini memberikan batas maksimum untuk gerusan eksisting pada kedalaman yang terjadi pada penampang melintang sungai.

Rumus kecepatan pada belokan ( $V_b$ ) berhubungan dengan kecepatan geser (*shear velocity*). Pertambahan kedalaman gerusan pada penampang sungai dipengaruhi oleh pertambahan kedalaman dan kecepatan yang mempengaruhinya ( $V_o$ ). Kecepatan rata-rata aliran ( $V_o$ ) ditentukan oleh kekasaran material pada dasar maupun tebing sungai. Hubungan antara kecepatan pada belokan ( $V_b$ ), kecepatan rata-rata ( $V_o$ ), kedalaman muka air, dan kedalaman gerusan dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$d_s = H \left( \frac{V_b}{V_o} - 1 \right) \quad (2-62)$$

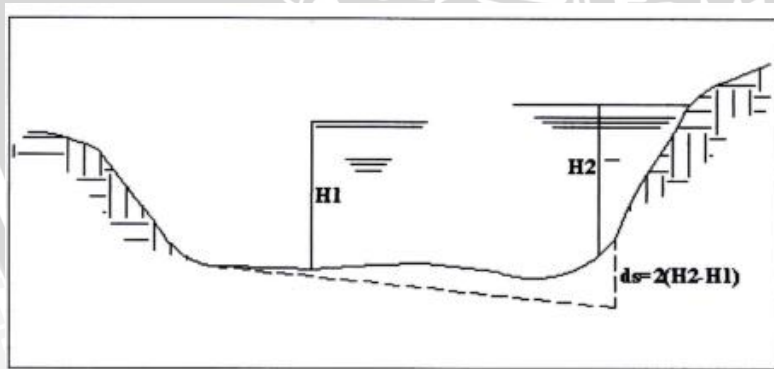
Dengan :

$d_s$  = kedalaman gerusan (m)

$H$  = Kedalaman aliran (m)

$V_b$  = Kecepatan rata-rata pada belokan (m/det)

$V_o$  = Kecepatan yang sesuai dengan material dasar (m/det)



Gambar 2.23. Penentuan kedalaman gerusan dengan mempertimbangkan koefisien kekasaran pada tebing dan dasar sungai

Sumber : Anonim

Perhitungan kedalaman gerusan dengan mempertimbangkan nilai koefisien kekasaran pada tebing dan dasar sungai :

Dengan :

$d_s$  = kedalaman gerusan (m)

$H_2$  = Kedalaman muka air dengan nilai  $n$  pada tebing sungai (m)

$H_1$  = Kedalaman muka air dengan nilai  $n$  pada dasar sungai (m)

### 2.5.2. Sempadan Sungai

Dalam mewujudkan pemanfaatan sungai serta mengendalikan daya rusak sungai, perlu ditentukan garis sempadan sungai yaitu garis batas perlindungan sungai. Garis sempadan sungai ini akan menjadi acuan pokok dalam kegiatan pemanfaatan dan perlindungan sungai serta pengembangan permukiman di wilayah sekitar sungai.

Dalam penentuan garis sempadan sungai, ada tiga aspek peting yang harus dipertimbangkan, antara lain :

1. Aspek Legal/Hukum
2. Aspek Teknis
3. Aspek Sosial

Selain mempertimbangkan ketiga aspek di atas, perencanaan sempadan sungai ini juga harus berpedoman pada :

1. UU No.7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air
2. PP No.35 Tahun 1991 tentang Sungai
3. Keppres No. 32 Tahun 1990 tentang pengelolaan kawasan Lindung
4. Permen No. 63/KPR/1993 tentang Garis Sempadan Sungai, Daerah Manfaat Sungai dan Bekas Sungai.

Dalam UU No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, dinyatakan bahwa sungai merupakan salah satu bentuk air permukaan yang harus dikelola secara menyeluruh, terpadu berwawasan lingkungan hidup dengan mewujudkan kemanfaatan sumber daya air yang berkelanjutan untuk kemakmuran rakyat. Dengan demikian sungai harus dilindungi dan dijaga kelestariannya, ditingkatkan fungsi dan kemanfaatannya, dan dikendalikan daya rusaknya terhadap lingkungan.

Sedangkan dalam Permen No. 63/KPR/1993 ini dijelaskan tentang pengertian dan ketentuan garis sempadan sungai. Garis sempadan sungai adalah garis batas luar pengamanan sungai. Penetapan garis sempadan sungai dimaksudkan sebagai upaya agar kegiatan perlindungan, penggunaan dan pengendalian atas sumber daya yang ada pada sungai termasuk danau dan waduk dapat dilaksanakan sesuai dengan tujuannya. Kriteria penetapan garis sempadan sungai terdiri dari :

1. Sungai bertanggung di luar kawasan perkotaan.
2. Sungai bertanggung di dalam kawasan perkotaan
3. Sungai tidak bertanggung di luar kawasan perkotaan
4. Sungai tidak bertanggung di dalam kawasan perkotaan



Berdasarkan kriteria di atas penetapan garis sempadan sungai ditentukan sebagai berikut :

1. Penetapan garis sempadan sungai bertanggung ditetapkan sebagai berikut :
  - a. Garis sempadan sungai bertanggung di luar kawasan perkotaan ditetapkan sekurang-kurangnya 5 (lima) meter di sebelah luar sepanjang kaki tanggul .
  - b. Garis sempadan sungai bertanggung di dalam kawasan perkotaan ditetapkan sekurang-kurangnya 3 (tiga) meter di sebelah luar sepanjang kaki tanggul.
2. Penetapan garis sempadan sungai tidak bertanggung di luar kawasan perkotaan.
  - a. Sungai besar yaitu sungai yang mempunyai daerah pengaliran sungai seluas 500 (lima ratus) km<sup>2</sup> atau lebih
  - b. Sungai kecil yaitu sungai yang mempunyai daerah pengaliran sungai seluas kurang dari 500 (lima ratus) km<sup>2</sup>

## **2.6. Dinding Penahan Jenis Kaku (*Rigid Revetment*).**

Perkuatan lereng (revetments) adalah bangunan yang ditempatkan pada permukaan suatu lereng guna melindungi suatu tebing alur sungai atau permukaan lereng tanggul dan secara keseluruhan berperan meningkatkan stabilitas alur sungai atau tubuh tanggul yang dilindunginya.

Telah terjadi pengembangan yang sangat lanjut terhadap konstruksi salah satu bangunan persungai yang sangat lanjut terhadap konstruksi salah satu bangunan persungai yang sangat vital ini dan pada saat ini telah dimungkinkan memilih salah satu konstruksi, bahan dan cara pelaksanaan yang paling cocok disesuaikan dengan berbagai kondisi setempat. Walaupun demikian konstruksi perkuatan lereng secara terus menerus dikembangkan dan disempurnakan.

### **2.6.1. Dasar - Dasar Desain**

Jenis-jenis dinding penahan tanah (*retaining wall*) adalah *gravity wall*, *semi-gravity wall* dan *cantilever wall*. *Gravity Wall* adalah dinding penahan tanah dengan mengandalkan gaya gravitasi sebagai gaya penahan beban. Dinding ini tidak terdapat tegangan tarik. *Semi-gravity Walls* memerlukan baja untuk mengurangi massa beton.

*Cantilever Wall* berbentuk dinding T dan bertindak sebagai kantilever. Biasanya terbuat dari beton bertulang. Dalam mendesain dinding pengaman tipe ini, yang harus diperhatikan adalah stabilitas dinding. Dinding harus stabil terhadap gaya guling (*overturning*), gaya gelincir (*sliding*) dan daya dukung.



### 2.6.2. Gaya Guling

Gaya guling dapat menyebabkan dinding penahan tanah terguling apabila tidak dapat menahan gaya akibat beban. Beban yang dapat menyebabkan dinding penahan tanah ini terguling adalah tekanan tanah horizontal. Sedangkan yang menahan agar dinding tidak terguling adalah gaya berat, tekanan aktif dan berat tanah timbunan. Agar lebih jelas dapat melihat gambar pada contoh perencanaan dinding penahan tanah.

Kestabilan dinding penahan tanah adalah perbandingan antara jumlah gaya yang membuat dengan gaya penahan guling. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$SF = \frac{Mr}{Mo} \quad (2-63)$$

Dimana :

Mr = Momen yang menahan dinding agar tidak guling

Mo = Momen yang membuat dinding terguling

### 2.6.3. Gaya Gelincir (*Sliding*)

Gaya gelincir dapat menyebabkan dinding penahan tanah tergelincir hingga jatuh. Gaya gelincir ditentukan oleh tekanan tanah horizontal akibat tanah di belakang dinding. Sedangkan gaya tahannya adalah berat dinding dan tekanan pasif. Dinding dapat dikatakan aman apabila angka keamanan melebihi yang disyaratkan. Angka keamanan :

$$SF = \frac{\text{Resisting forces}}{\text{driving forces}} \quad (2-64)$$

### 2.6.4. Daya Dukung

Daya dukung tanah diperlukan untuk menahan beban akibat berat dinding penahan tanah. Besarnya daya dukung ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

Dalam perhitungan kontrol terhadap penurunan (*Terzaghi*) digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{ult} = 1,3 \cdot C \cdot N_c + Df \cdot \gamma \cdot N_q + 0,5 \cdot D \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad (2-65)$$

Dimana :

$Q_{ult}$  = daya dukung ultimate tanah ( ton/m<sup>2</sup> )

c = nilai kohesi tanah (ton/m<sup>2</sup>)

Df = kedalaman pondasi (m)

D = lebar dasar pondasi (m)

$\gamma$  = berat tanah basah

$\phi$  = sudut geser tanah

## 2.7. Ambang Lebar atau Drempel (*Groundsill*)

*Ground Sill* (Ambang/drempel) adalah bangunan melintang sungai yang dibangun melintang sungai untuk menjaga agar dasar sungai tidak turun terlalu berlebihan.

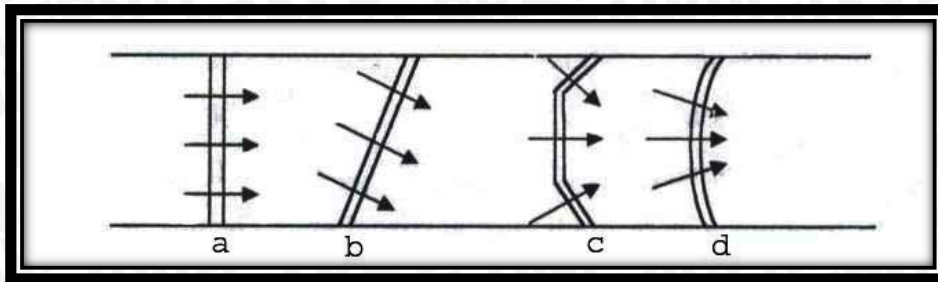
Penurunan berlebihan tersebut terjadi karena berkurangnya pasokan sedimen dari hulu ataupun karena aktifitas penambangan yang berlebihan. Akibat dari aktifitas tersebut pada waktu banjir akan terjadi arus air yang tak terkontrol sehingga akan mengakibatkan rusak/hancurnya bangunan pondasi perkuatan lereng ataupun pilar-pilar jembatan. Akibat yang lebih parah adalah tergerusnya dasar sungai dan hancurnya tanggul-tanggul sungai. Penggerusan dasar sungai secara lokal dapat juga terjadi akibat berubahnya arus air di suatu lokasi akibat dibangunnya pilar jembatan ditengah alur sungai. Dalam keadaan seperti diatas perlu adanya pembangunan *ground sill* untuk menghindari terjadinya penurunan dasar sungai (*degradasi*).

### 2.7.1. Tipe dan Bentuk *Ground Sill*

Tujuan utama pembangunan *Ground Sill* adalah untuk mencegah gerusan dasar sungai dengan cara lebih melandaikan kemiringan dasarnya, guna mengurangi daya tarik alirannya. Agar tidak terjadi gerusan yang berlebihan di bagian hilir ambang, maka desain ambang hendaknya tidak terlalu tinggi, akan tetapi jika ambang terlalu rendah, pengamanan dasar sungai akan tidak terlalu efektif terutama saat banjir. Paling tidak terdapat dua (2) tipe umum ambang, yaitu ambang datar (*bed gindle work*) dan ambang pelimpah (*head work*). Ambang datar hampir tidak mempunyai terjunan dan elevasi mercunya hampir sama dengan permukaan dasar sungai dan berfungsi untuk menjaga agar permukaan dasar sungai tidak turun lagi. Sedangkan ambang pelimpah mempunyai terjunan, sehingga elevasi permukaan dasar sungai di sebelah hulu ambang lebih tinggi dari elevasi permukaan dasar di sebelah hilirnya dan tujuannya adalah untuk lebih melandaikan kemiringan dasar sungai.

Ambang pelimpah hendaknya direncanakan agar secara hidrolis dapat berfungsi dengan baik, antara lain denahnya ditempatkan sedemikian rupa sehingga tegak lurus dengan arah sungai, khususnya saat banjir. Pada gambar 3.17 terdapat 4 jenis ambang, tetapi yang sering dibangun adalah tipe tegak lurus (a) karena murah dan mudah pelaksanaannya, adapun tipe diagonal (d) jarang digunakan karena ambang menjadi lebih panjang dan limpasan air terpusat di tengah ambang, selain itu biaya pengerjaan juga lebih mahal.





Gambar 2.24. Denah Ambang dan Arah Limpasan Air

Sumber :: Anonim

### 2.7.2. Desain Ground Sill

Tujuan utama dibangunnya ambang adalah untuk mencegah terjadinya gerusan dasar sungai dengan cara lebih melandaikan kemiringan dasarnya, guna mengurangi gaya tarik alirannya. Untuk menghindari terjadinya gerusan disebelah hilir ambang, maka ketinggian ambang perlu direncanakan secara matang. Karena jika ambang terlalu rendah maka fungsinya akan kurang berarti apalagi jika banjir melanda.

### 2.7.3. Perhitungan Ketinggian Air

Data – Data :

- Elevasi lantai hulu
- Elevasi lantai hilir
- Elevasi puncak *groundsill*
- Tinggi mercu *groundsill*
- Tinggi energi diatas *groundsill*
- Debit rencana
- Lebar efektif bendung

Dengan:

- $Hd_1$  = Tinggi energi diatas *Groundsill*,  
 $h_1$  = Tinggi muka air hulu diatas *Groundsill*,  
 $V_1$  = Kecepatan di hulu *Groundsill*  
 $Q$  = Debit rencana  
 $A$  = Luas Penampang Saluran  
 $L_{eff}$  = Lebar efektif *Groundsill*  
 $P$  = Tinggi *Groundsill*  
 $g$  = Percepatan gravitas  
 $Z$  = Tinggi jatuh  
 $q$  = Debit persatuan lebar  
 $y_2$  = Tinggi muka air didalam loncatan  
 $y_3$  = Tinggi muka air di hilir



Fr = Bilangan Froude

- Mencari nilai  $Hd_1$

$$Hd_1 = h_1 + \frac{\left(\frac{Q}{L_{eff}(P+h_1)}\right)^2}{2g} \quad (2-66)$$

- Mencari Luas

$$A = L_{eff} (P + h_1) \quad (2-67)$$

- Mencari  $V_1$

$$V_1 = Q / A \quad (2-68)$$

- Tinggi muka air di sebelah hilir mercu

$$z = (el, \text{lantai hulu} - el, \text{lantai hilir}) + \text{tinggi mercu} \quad (2-69)$$

- Mencari  $V_2$

$$V_2 = \sqrt{2g\left(\frac{1}{2Hd_1} + Z\right)} \quad (2-70)$$

- Mencari  $y_2$

$$y_2 = (Q/L_{eff})/V_2 \quad (2-71)$$

- Bilangan Froud

$$Fr = \frac{V_2}{\sqrt{gy_2}} \quad (2-72)$$

- Mencari  $y_2$

$$y_3 = 0,5 \cdot \sqrt{1 + 8Fr^2} - 1 \quad (2-73)$$

- Panjang loncatan

$$L_j = 5 (y_3 - y_2) \quad (2-74)$$

- Panjang peredaman

$$L = 4 \times Y_3 \quad (2-75)$$

- Tebal Lantai/Apron

Lantai direncanakan dengan kolam olak, sehingga rumus yang dipakai.

dengan:

$$t = 0,1(0,6H_1 + 3h_3 - 1) \quad (2-76)$$

t = tebal lantai (m)

$H_1$  = tinggi muka air lantai batuan dasar sampai mercu main dam (m)

$h_3$  = tinggi muka air di atas peluap (m)



#### 2.7.4. Perencanaan *Ground Sill*

Dalam perencanaan *ground sill* diambil tinggi kisaran 0-2 m. Hal ini didasarkan karena fungsinya yang hanya untuk menjaga agar kemiringan sungai agar tidak tergerus, selain itu jika tinggi *ground sill* berlebihan dikhawatirkan terjadi bahaya pipung.

Jika dikaitkan dengan fungsinya, maka desain mercu *ground sill* harus kuat menahan aliran sedimen, jadi harus kuat menahan benturan, baik benturan karena aliran sedimen, maupun benturan karena batang pohon yang hanyut. Adapun lebar mercu yang disarankan dapat dilihat pada tabel 2.9.

Tabel 2.9 Perkiraan lebar mercu *ground sill*

Lebar mercu	B = 1,5 ~ 2,5 m	B = 3 ~ 4 m
Material	Pasir dan kerikil atau kerikil dan batu	Batu-batu besar
Hidrologis	Kandungan sedimen sedikit sampai banyak	Debris flow kecil sampai besar

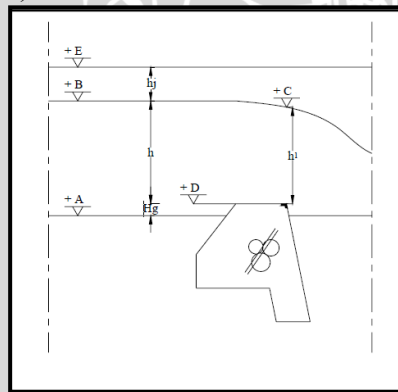
Sumber : Anonim

Untuk menghitung tinggi jagaan dapat digunakan pedoman :

Untuk  $Q < 200$  (m<sup>3</sup>/dt) → 0,6 m

Untuk  $200 < Q < 500$  (m<sup>3</sup>/dt) → 0,8 m

Untuk  $Q > 500$  (m<sup>3</sup>/dt) → 1 m



Gambar 2.25. Sketsa dimensi *ground sill*

Sumber : Anonim

Dari hasil perhitungan yang sudah dilakukan di atas maka dapat diketahui :

- Untuk elevasi muka air di hulu dapat dihitung dari :

Elevasi tanah = +A

Tinggi *ground sill* = Hg

Tinggi air di hulu mercu = h

Elevasi muka air di hulu = + B

- Untuk elevasi muka air di atas *ground sill* dapat dihitung dari :

$$\text{Elevasi tanah} = +A$$

$$\text{Tinggi } \textit{ground sill} = H_g$$

$$\text{Tinggi air di atas mercu} = \underline{h_1}$$

$$\text{Elevasi muka air di atas } \textit{ground sill} = +C$$

- Untuk elevasi mercu dapat dihitung dari :

$$\text{Elevasi tanah} = +A$$

$$\text{Tinggi } \textit{ground sill} = \underline{H_g}$$

$$\text{Elevasi mercu} = +D$$

- Untuk tinggi sayap dapat dihitung dari :

$$\text{Elevasi tanah} = +A$$

$$\text{Tinggi air dihilu mercu} = H_g$$

$$\text{Tinggi jagaan} = \underline{h_j}$$

$$\text{Elevasi sayap} = +E$$

- Kemiringan hulu dan hilir *ground sill*

Kemiringan hilir ditentukan dengan

$$1 : n \Rightarrow \text{dimana } n \text{ diambil } 0,2 \Rightarrow 1 : 0,2$$

Kemiringan hulu ditentukan dengan

Untuk  $h < 15$  m, nilai  $m$  dicari dengan rumus :

$$(1 + \alpha)m^2 + [2(0,2 + \beta) + 0,2(4\alpha + \gamma)]m - (1 + 3\alpha) + \alpha\beta(4n + \beta) + \gamma(3n\beta + \beta^2 + n^2) = 0 \quad (2-63)$$

$$\alpha = \frac{h}{H} \quad (2-89)$$

$$\beta = \frac{b}{H} \quad (2-77)$$

Dimana :

$\gamma$  = Berat volume bahan *ground sill*

$n$  = kemiringan hilir *ground sill*

$m$  = kemiringan hulu *ground sill*

$b$  = lebar mercu *ground sill*

$h$  = tinggi air diatas mercu *ground sill*

$H$  = tinggi air diatas mercu + tinggi mercu *ground sill*

- Menurut Ir. Schrau Vendijk

$$\text{Untuk } 0,5 < \Delta H/H_{cr} < 2 \text{ maka } T = 2,4 H_{cr} + 0,4 \Delta H \quad (2-78)$$

Dimana :

$\Delta H$  = Beda tinggi



$H_{cr}$  = Tinggi air kritis

$T$  = kedalaman gerusan

$$H_{cr} = \left( \frac{Q}{b} \right)^{2/3}$$

Dengan :

$Q$  = debit rencana

$b$  = lebar dasar

$g$  = percepatan gravitasi

$$H_{cr} = \left( \frac{\left( \frac{54,00}{12,75} \right)^2}{9,81} \right)^{2/3}$$

- Kedalaman pondasi ( $d$ )

$$d = \frac{1}{3}(H_{ef} + h) \quad (2-79)$$

Dimana :

$H_{eff}$  = Tinggi efektif mercu ground sill

$h$  = tinggi muka air di hilir mercu ground sill =  $h_3$

### 2.7.5. Analisa stabilitas gaya-gaya yang bekerja pada ground sill

Karena dimensi ground sill yang relatif kecil, maka gaya-gaya yang dianalisis terdiri dari gaya

- a. Berat Sendiri ( $W$ )
- b. Gaya tekanan air statis ( $P$ )

Adapun gaya-gaya yang lain dapat diabaikan.

- Berat sendiri

$$W = \gamma_s \cdot A \quad (2-80)$$

Dimana :

$\gamma_s$  = Berat volume ( beton 2,4 ton/m<sup>2</sup>, pasangan batu 2,2 ton/m<sup>2</sup> )

$A$  = Volume/m<sup>3</sup>

$W$  = Berat sendiri/m<sup>2</sup>

- Gaya tekan air statis

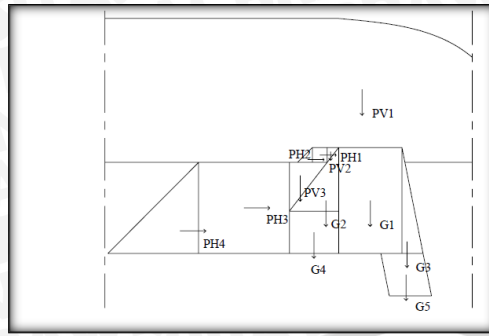
$$P = \gamma_w \cdot H_w \quad (2-81)$$

Dimana :

$\gamma_w$  = Berat volume air ( 1,2 ton/m<sup>3</sup> )

$H_w$  = Kedalaman air ( m )

$P$  = Gaya tekan air statis ( ton/m<sup>2</sup> )



Gambar 2.26. Sketsa gaya-gaya yang bekerja pada *ground sill*  
Sumber : Anonim

- Cek terhadap guling

Momen pasif :

$$M \text{ pasif} = MG1 + MG2 + MG3 + MG4 + MG5 + MPV1 + MPV2 + MPV3$$

Momen aktif :

$$M \text{ aktif} = MPH1 + MPH2 + MPH3 + MPH4 \quad (2-82)$$

Syarat :

$$M \text{ pasif} / M \text{ aktif} > 1,5$$

- Cek terhadap eksentrisitas

$$e = B/2 - (\sum M / \sum V) \quad (2-83)$$

$$e \text{ ijin} = B/6$$

Dimana :

$$B = \text{Lebar total ground sill ( m )}$$

$$\sum M = \text{Jumlah selisih momen ( M pasif - M aktif ) ( ton.m )}$$

$$\sum V = \text{Jumlah gaya vertikal ( ton )}$$

Syarat :

$$e < e \text{ ijin}$$

- Stabilitas terhadap geser

Syarat :

$$((\tan \phi * \sum V) + (C * B)) / \sum H > SF \quad (2-84)$$

Dimana :

$$SF = \text{Safety Factor} = 1,2$$

$$\phi = \text{Sudut geser tanah}$$

$$V = \text{Gaya Vertikal}$$

$$C = \text{Nilai kohesi tanah}$$

$$B = \text{Lebar dasar } \textit{ground sill}$$

$$H = \text{Gaya horizontal}$$

- Tegangan yang terjadi pada dasar pondasi

Rumus yang digunakan :

$$\sigma_{1,2} = \sum V/B * (1 \pm 6e/B) < \sigma \text{ ijin} \quad (2-85)$$

Dimana :

B = Lebar total ground sill ( m )

e = Eksentrisitas

$\sum V$  = Jumlah gaya vertikal ( ton )

$\sigma$  ijin = Tegangan ijin = 60 t/m<sup>2</sup>

- Cek kekuatan tanah

Untuk menghitung daya dukung tanah digunakan rumus terzaghi

$$q_{ult} = c.N_c + \gamma.N_q.D_f + 0,5 \cdot \gamma.B.N_\gamma \quad (2-86)$$

Dengan:

$\gamma$  = berat volume tanah ( ton/m<sup>3</sup> )

c = kohesi

O = sudut geser dalam (  $^\circ$  )

D<sub>f</sub> = kedalaman pondasi ( m )

N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub> didapat dari grafik Terzaghi.

Syarat :  $\sigma_{1,2} < q_{ultimate}$

