

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai

Menurut Srodarsono (1994), sungai adalah air hujan yang turun ke permukaan tanah, mengalir ketempat yang rendah dan mengalami bermacam – macam perlawanan akibat gaya berat, akhirnya melimpah ke danau atau laut. Suatu alur yang panjang di atas permukaan bumi tempat mengalir air yang berasal dari sungai disebut alur sungai.

Sungai merupakan sarana pengaliran air dari hulu ke hilir yang terbentuk oleh alam. Sungai mempunyai fungsi mengumpulkan curah hujan dalam suatu daerah tertentu dan mengalirkannya ke laut. Sungai digunakan juga untuk berbagai aspek seperti pembangkit tenaga listrik, pelayaran, pariwisata, perikanan dan bidang pertanian.

Saluran yang dijumpai di alam mempunyai beberapa morfologi sungai, sungai lurus, sungai dengan tikungan dan sungai yang menganyam. Sungai lurus terjadi pada daerah yang belum stabil dan untuk menyalurkan energinya sungai ini akan memperpanjang aliran dan membentuk *meander*. Salah satu cara agar aliran mencapai kestabilan dapat dilakukan dengan memasang Krib Impermeable pada Krib Kombinasi Permeable & Impermeable.

Sungai atau saluran terbuka menurut Bambang Triatmodjo (1993) adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran dan sebagainya.

2.2.1 Morfologi Sungai

Sifat-sifat suatu sungai dipengaruhi oleh luas, dan bentuk daerah pengaliran serta kemiringannya. Topografi suatu daerah sangat berpengaruh terhadap morfologi sungai yang ada, daerah dengan bentuk pegunungan pendek-pendek mempunyai daerah pengaliran yang tidak luas dan kemiringan dasarnya besar. Sebaliknya daerah dengankemiringan dasarnya kecil biasanya mempunyai daerah pengaliran yang luas. Kategori kelas bentuk sungai yang umum diperkenalkan oleh Leopold dan Wolman (1957) adalah sungai berkelok (*meandering*), sungai berburai(*braided*), dan sungai lurus (*straight*).

1. Sungai Berkelok (*Meandering Reaches*)

Sungai yang mengandung aliran satu arah dengan kelokan-kelokan yang tajam. Bentuk geometrik sungai cenderung berubah seiring waktu menyesuaikan dengan erosi pengendapan yang terjadi.



Gambar 2.1 *Meandering Reaches*

(Sumber: Google Image)

2. Sungai Berbuai (*Braided Reaches*)

Sungai berbuai (*braided reaches*) adalah sungai yang terbentuk dari saluran-saluran kecil yang saling terhubung tidak beraturan. Sungai ini ditandai dengan sedimentasi yang relative tinggi di beberapa titik sehingga membentuk aliran-aliran kecil baru dimana mempunyai aliran atau arus yang bervariasi. Sungai dengan tipe ini umumnya memiliki perbedaan kemiringan yang relative tinggi dan lereng/tebingnya tidak stabi serta kurang bervegetasi



Gambar 2.2 *Braided Reaches*

(Sumber: Google Image)

3. Sungai Lurus (*Straight Reaches*)

Sungai lurus adalah sungai yang bentuk alinemen sungainya relative lurus tanpa kelokan. Sungai jenis ini umumnya memiliki kemiringan lereng yang hamper datar, atau curam yang mengakibatkan kecepatan aliran yang tinggi



Gambar 2.3 *Straight Reaches*

(Sumber :*Google Image*)

2.1.2 Tinjau Morfologi Sungai

Kondisi morfologi sungai (*River Morphology*) berkaitan dengan bentuk alur sungai, geometri saluran, kemiringan sungai. Penentuan bentuk alur sungai didasarkan pada nilai *Sinosity Index (SI)* sebagai berikut:

1. Menurut Leopold dan Walman : $SI = \frac{\text{Talweg Leght}}{\text{Valley Leght}}$ (2.1)

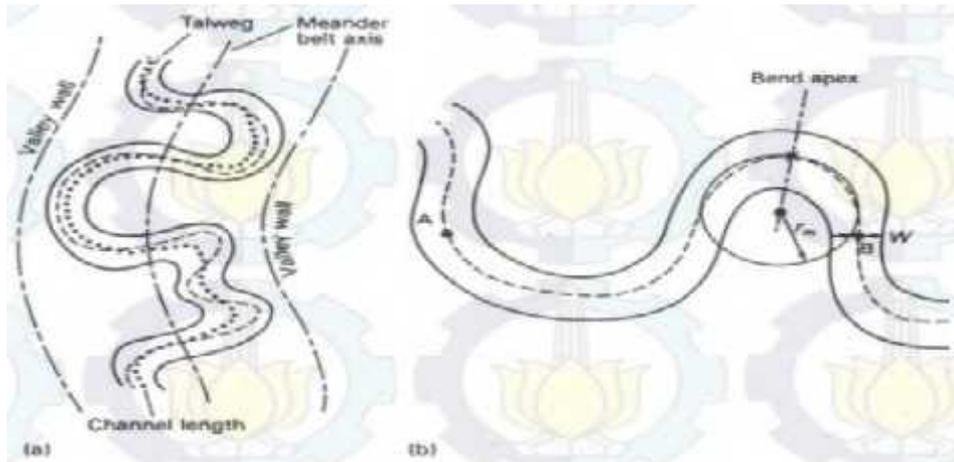
2. Menurut Brice : $SI = \frac{\text{Leght of channel}}{\text{Leght of meander belt axis}}$ (2.2)

Dengan :

SI < 1,05 untuk sungai lurus

SI > 1,5 untuk sungai berkelok (*meandering*)

1,05 > SI < 1,5 untuk sungai sinous



Gambar 2.4 Penentuan Parameter Bentuk Alur Sungai

2.2 Analisa Hidrologi

Dalam perencanaan bangunan air diperlukan suatu perhitungan perencanaan hidrologi yaitu analisa statistika curah hujan rancangan dan debit rancangan kala ulang tertentu. Oleh karena itu perlu ditunjang dengan data hidrologi yang memadai sehingga diperoleh suatu hasil perancangan yang memenuhi syarat keamanan maupun usia dan manfaat bangunan air. Untuk mencapai hal tersebut maka dilakukan hal – hal sebagai berikut:

- a. Pengumpulan data hasil penelitian langsung dilapangan
- b. Analisa data curah hujan
- c. Analisa debit banjir

2.2.1 Presipitasi

Presipitasi adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan uap air yang mengkondensasi dan jatuh dari atmosfer ke bumi dengan segala bentuknya. Jika presipitasi yang jatuh dalam bentuk cair disebut hujan sedangkan jika yang jatuh dalam bentuk padat disebut salju (Suripin, 2004). Presipitasi yang terjadi di Indonesia pada umumnya adalah hujan. Hujan merupakan faktor terpenting dalam analisis hidrologi. Karakteristik hujan yang perlu ditinjau dalam analisis dan perencanaan hidrologi meliputi sebagai berikut.

1. Intensitas (i) adalah laju hujan, tinggi air per satuan waktu (mm/menit, mm/jam, mm/hari).
2. Lama waktu (t) adalah panjang waktu di mana hujan turun dalam jam atau menit.

3. Tinggi hujan (d) adalah jumlah atau kedalaman hujan yang terjadi selama durasi hujan dan dinyatakan dengan ketebalan air di atas permukaan datar dalam mm.
4. Frekuensi adalah frekuensi kejadian dan biasanya dinyatakan dengan kala ulang (return period) misalnya sekali dalam 2 tahun.
5. Luas adalah luas geografis daerah sebaran hujan.

2.2.2 Pengukuran Hujan

Pengukuran hujan di Indonesia dilakukan oleh beberapa instansi di antaranya Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Dirjen Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Kementerian Pertanian, dan beberapa instansi pemerintah dan swasta lainnya yang berkepentingan dengan hujan. Pengukuran hujan dilakukan secara langsung dengan menampung air hujan yang jatuh. Namun tidak mungkin untuk menampung seluruh air hujan yang jatuh di suatu daerah tangkapan hujan. Hujan di suatu daerah hanya dapat diukur di beberapa titik saja dengan menggunakan alat pengukur hujan. Hujan yang terukur pada alat tersebut mewakili suatu luasan daerah di sekitarnya.

2.2.3 Penentuan Hujan Kawasan

Didalam pengumpulan data curah hujan kadang terdapat data yang hilang pada stasiun tertentu, oleh karena itu data yang hilang tersebut perlu diisi dimana metode yang sering digunakan adalah “*Ratio Normal*” yang dikemukakan oleh Linsley Et, Al 1958.

Misalnya pada pos A adalah proses penakar data yang hilang, mempunyai tinggi hujan rata – rata tahunan yang diperoleh dari nilai rata – rata dalam bentuk tahunan dalam banyak tahun yang datanya hilang Sebesar N_x , sedangkan pos – pos sekitar A, B, C, mempunyai tinggi hujan rata – rata tahunan masing – masing sebesar P_A , P_B , P_C . Jika data di pos sekitar penakar hilang dan diketahui maka tinggi hujan di pos penakar X pada saat hilang dapat ditaksir dengan rumus sebagai berikut (Harto, 1985, hal 58):

$$R_X = \frac{1}{n} \left(\frac{N_x}{N_1} \times R_1 + \frac{N_x}{N_2} \times R_2 \dots \dots \frac{N_x}{N_x} \times R_x \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

R_x = Hujan pada stasiun X yang dicari atau diperkirakan

$R_{1,2,3}$ = Hujan normal pada saat yang sama di stasiun 1, 2, dan 3

$N_{1,2,3}$ = Tinggi hujan normal tahunan di stasiun 1, 2, dan 3

N = Jumlah pos hujan pengamatan

N_x = Tinggi hujan normal tahunan di stasiun X yang datanya hilang

Cara ini hanya boleh digunakan apabila variasi hujan tidak terlalu besar. Pengertian hujan normal rata – rata adalah rata – rata hujan dengan jangka pengukuran 10 – 20 tahun, namun kadang perlu dilihat mengenai ketersediaan data hujan yang ada. Jumlah stasiun yang dianjurkan paling kurang 3 buah stasiun.

2.2.4 Perhitungan Distribusi Curah Hujan Maksimum Rata – Rata

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 wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm. Untuk menghitung distribusi curah hujan maksimum rata – rata dapat menggunakan 3 cara yaitu:

a. Cara Polygon Thiessen

Jika titik-titik pengamatan di dalam daerah itu tidak tersebar merata, maka cara perhitungan curah hujan rata-rata itu dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan. Cara ini cocok untuk menentukan curah hujan rata-rata apabila stasiun atau pos pengamatan tidak banyak.

$$R = \frac{R_1 A_1 + R_2 A_2 + \dots + R_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.4)$$

$$R = \frac{A_1}{A} R_1 + \frac{A_2}{A} R_2 + \dots + \frac{A_n}{A} R_n \quad (2.5)$$

$$R = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (2.6)$$

Keterangan:

R = Curah hujan rata – rata (mm)

n = Jumlah titik pengamatan

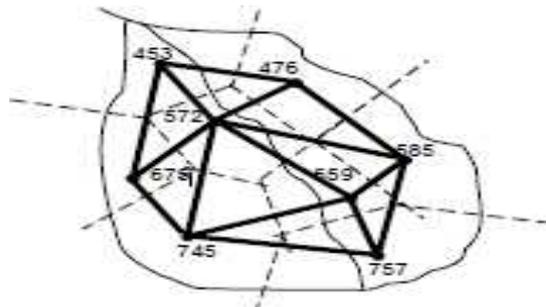
$R_1 R_2 \dots R_n$ = Curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

$A_1 A_2 \dots A_n$ = bagian daerah yang mewakili tiap titik pengamatan

Keuntungan cara ini ialah bahwa cara ini obyektif, dimana factor subyek turut menentukan. (Sosrodarsono, 1999, Hal. 27) sedangkan

kerugian dari cara ini ialah jika terjadi kekurangan pengamatan pada salah satu titik pengamatan maka harus ditentukan kembali jaringan segitiga. Cara untuk menentukan bagian atau luasan daerah A_1, A_2, A_n :

1. Hubungkan tiap titik pengamatan dengan garis lurus yang akan membentuk segitiga dan menutupi seluruh daerah.
2. Daerah tersebut dibagi dengan polygon-polygon yang diperoleh dengan menggambar garis tegak lurus pada tiap sisi segitiga. Luas polygon tersebut diukur dengan planimeter.



Gambar 2.5 Thiessen Polygon

b. Cara rata – rata aljabar

Cara ini dipakai pada daerah yang datar dan banyak stasiun curah hujannya, dengan anggapan bahwa di daerah tersebut sifat curah hujannya adalah seragam (*uniform*). Cara ini adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan di dalam dan di sekitar daerah yang bersangkutan.

$$R = \frac{1}{n}(R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) \dots\dots\dots (2.7)$$

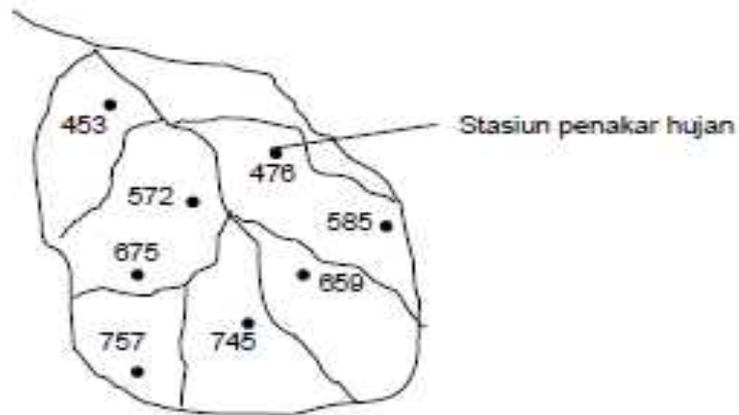
Keterangan:

R = curah hujan daerah (mm)

n = jumlah titik-titik (pos) pengamatan

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

Keuntungan: cara ini lebih obyektif



Gambar 2.6 Rata-rata Aljabar

c. Cara Garis Isohiet

Peta isohyet digambar pada peta topografi dengan perbedaan (interval) 10 – 20 mm berdasarkan data curah hujan pada titik-titik pengamatan di dalam dan di sekitar daerah yang dimaksud. Luas bagian daerah antara dua garis isohyet yang berdekatan diukur dengan planimeter. Metode ini cocok untuk menentukan curah hujan rata-rata, apabila daerahnya pegunungan atau daerah berbukit-bukit. Metode perhitungannya adalah jumlah perkalian curah hujan rata-rata diantara garis Isohyet dengan luas antara kedua garis Isohyet tersebut, dibagi luas total. Secara sistematis dapat ditulis :

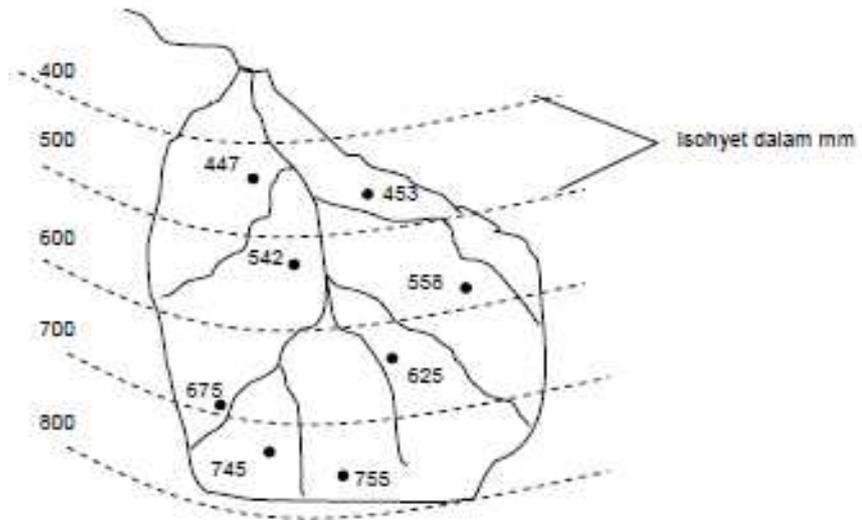
$$\bar{R} = \frac{A_1 (R_1 + R_2)}{\sum A} \cdot \frac{1}{2} + \frac{A_2 (R_2 + R_3)}{\sum A} \cdot \frac{1}{2} + \dots + \frac{A_n (R_n + R_{n+1})}{\sum A} \cdot \frac{1}{2} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

R = curah hujan rata-rata daerah (mm)

A_1, A_2, A_n = luas bagian antara garis-garis Isohyet

R_1, R_2, R_n = curah hujan rata-rata pada bagian $A_1, A_2, \dots A_n$



Gambar 2.7 Peta Isohyet

Terlepas dari kelemahan dan kekurangan ketiga metode di atas, pemilihan metode yang cocok didasarkan pada tiga faktor yaitu jaringjaring pos penakar hujan, luas DAS, topografi DAS.

Tabel 2.1 Faktor-faktor penentu metode perhitungan curah hujan rata – rata

	Jaring pos penakar hujan	Luas DAS	Topografi DAS
Metode aljabar	Jumlah pos terbatas	DAS kecil (< 500 km ²)	Pegunungan
Metode Thiessen	Jumlah pos cukup	DAS sedang (500-5000 km ²)	Dataran
Metode isohyet	Jumlah pos cukup	DAS besar (> 5000)	Berbukit dan tidak beraturan

Sumber: Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

2.2.5 Analisa Frekuensi dan Probabilitas

Sistem hidrologi kadang-kadang dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa yang ekstrim, seperti hujan lebat, banjir, dan kekeringan. Besaran peristiwa ekstrim berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya. Peristiwa yang ekstrim kejadiannya sangat langka. Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung, terdistribusi secara acak, dan bersifat stokastik (Suripin, 2004).

Dalam analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan dimasa yang akan datang. Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata-rata, simpangan baku, koefisien variasi dan koefisien *skewness*.

a. Rata – rata

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots (2.9)$$

b. Simpangan baku

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.10)$$

c. Koefisien variasi

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \dots\dots\dots (2.11)$$

d. Koefisien *skewness*

$$G = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \dots\dots\dots (2.12)$$

Analisis frekuensi yang sering digunakan dalam bidang hidrologi adalah sebagai berikut.

a. Distribusi Normal

Distribusi normal disebut juga distribusi Gauss. Perhitungan curah hujan rencana menurut metode distribusi normal, mempunyai persamaan sebagai berikut.

$$X_T = \bar{X} + K_T S \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

XT : perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T

X : nilai rata-rata hitung variat

S :deviasi standar nilai variat

KT : faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik disrtibusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang

b. Distribusi Log Normal

Dalam distribusi log normal data X diubah ke dalam bentuk logaritmik $Y = \log X$. Jika variabel acak $Y = \log X$ terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti distribusi log normal. Perhitungan curah hujan rencana menggunakan persamaan berikut ini.

$$Y_T = \bar{Y} + K_T S \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

YT : Perkiraan nilai yang terjadi dengan periode ulang T-tahunan

Y : Nilai rata-rata hitung variat

S : Deviasi standar nilai variat

KT : Faktor Frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik disrtibusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang

c. Distribusi Log Person Tipe III

Perhitungan curah hujan rencana menurut metode Log Person Tipe III, mempunyai langkah-langkah perumusan sebagai berikut.

1. Mengubah data dalam bentuk logaritmis

$$X = \text{Log } X \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

2. Menghitung harga rata-rata

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

3. Menghitung harga simpangan baku

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^2}{n-1} \right]^{0.5} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

4. Menghitung koefisien *skewness*

$$G = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

5. Menghitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T

$$\log X_T = \log \bar{X} + K \cdot s \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

Nilai K adalah variabel standar untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan G.

d. Dstribusi Gumbel

Perhitungan curah hujan rencana menurut Metode Gumbel digunakan untuk analisis data maksimum, misal untuk analisis frekuensi banjir. Perhitungan curah hujan rencana menurut Metode Gumbel, mempunyai perumusan sebagai berikut.

$$X = \bar{X} + S.K \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

X : Harga rata-rata sampel

S : Standar deviasi (simpangan baku) sampel

Nilai K (faktor probabilitas) untuk harga-harga ekstrim Gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan:

Yn : *Reduced mean* yang tergantung jumlah sample/data n (Tabel 3.)

Sn : *Reduced standard deviation* yang juga tergantung pada jumlah sample/data n

YTr : *Reduced variate*, yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$Y_{Tr} = - \ln \left[- \ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right] \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

2.2.6 Uji Kecocokan

Dalam analisis hidrologi dibutuhkan pengujian parameter untuk menguji kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Pengujian parameter yang sering dipakai adalah uji chikuadrat dan Smirnov-Kolmogorov.

a. Uji Chi-kuadrat

Uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X_h^2 yang dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan:

X_h^2 : Parameter chi-kuadrat terhitung

G : Jumlah sub kelompok

O_i : Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i

E_i : Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i

Prosedur uji chi-kuadrat adalah sebagai berikut.

1. Mengurutkan data pengamatan.
2. Mengelompokkan data menjadi G sub grup yang masing-masing beranggotakan minimal 4 data pengamatan.
3. Menjumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub grup.
4. Menjumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i .
5. Pada tiap-tiap sub grup dihitung nilai $(O_i - E_i)^2$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
6. Menjumlahkan seluruh G sub grup nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai chi-kuadrat terhitung.
7. Menentukan derajat kebebasan $dk = G - R - 1$ (nilai R = 2 untuk distribusi normal dan binomial)

Interpretasi hasil uji chi-kuadrat adalah sebagai berikut.

1. Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi yang digunakan dapat diterima.
2. Apabila peluang kurang dari 1%, maka persamaan distribusi yang digunakan tidak dapat diterima.
3. Apabila peluang berada di antara 1-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu data tambahan.

a) Uji Smimov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut uji kecocokan non parametrik karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur uji Smirnov-Kolmogorov adalah sebagai berikut.

- 1) Mengurutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan menentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.
- 2) Mengurutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).
- 3) Dari kedua nilai peluang tersebut, menentukan selisih terbesar antar peluang pengamatan dan peluang teoritis.

4) Berdasarkan tabel nilai kritis menentukan harga Do.

b. Curah Hujan Maksimum Harian Rata – Rata

Perhitungan data hujan maksimum harian rata-rata DAS harus dilakukan secara benar untuk analisis frekuensi data hujan. Cara mendapatkan hujan maksimum harian rata-rata adalah sebagai berikut.

1. Menentukan hujan maksimum harian pada tahun tertentu di salah satu pos hujan.
2. Mencari besarnya curah hujan pada tanggal, bulan, dan tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
3. Menghitung hujan DAS dengan salah satu cara yang dipilih.
4. Menentukan hujan maksimum harian pada tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
5. Mengulangi langkah b dan c untuk setiap tahun.
6. Dari hasil rata-rata yang diperoleh dipilih yang tertinggi setiap tahunnya.

c. Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan yang berlangsung, intensitasnya cenderung semakin tinggi dan periode ulangnya makin besar intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan dinyatakan dengan lengkung Intensitas – Durasi - Frekuensi (IDF=*Intensity, Duration, Frequency Curve*).

Untuk menentukan debit banjir rencana (*design flood*) perlu didapatkan harga suatu intensitas curah hujan terutama bila digunakan metode rasional. Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau. Untuk menghitung intensitas curah hujan dapat digunakan beberapa rumus empiris sebagai berikut.

1) Rumus Talbot

Rumus ini banyak digunakan karena mudah diterapkan dan tetapan - tetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang terukur.

$$I = \frac{a}{t+b} \dots\dots\dots (2.24)$$

Keterangan:

I : intensitas hujan (mm/jam)

t : lamanya hujan (jam)

a dan b : konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi di DAS

$$a = \frac{[I.t][I^2] - [I^2.t][I]}{N[I^2] - [I][I]} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$b = \frac{[I][I.t] - N[I^2.t]}{N[I^2] - [I][I]} \dots\dots\dots (2.26)$$

2) Rumus Sherman

Rumus ini cocok untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{t^n} \dots\dots\dots (2.27)$$

Keterangan:

I : intensitas hujan (mm/jam)

t : lamanya hujan (jam)

n : konstanta

$$\log a = \frac{[\log I][(\log t)^2] - [\log t . \log I][\log t]}{N[(\log t)^2] - [\log t][\log t]} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$n = \frac{[\log I][\log t] - N[\log t . \log I]}{N[(\log t)^2] - [\log t][\log t]} \dots\dots\dots (2.29)$$

3) Rumus Ishiguro

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \dots\dots\dots (2.30)$$

Keterangan:

I : intensitas hujan (mm/jam)

t : lamanya hujan (jam)

a dan b : konstanta

$$a = \frac{[I.\sqrt{t}][I^2] - [I^2.\sqrt{t}][I]}{N[I^2] - [I][I]} \dots\dots\dots (2.31)$$

$$b = \frac{[I][I\sqrt{t}] - N[I^2\sqrt{t}]}{N[I^2] - [I][I]} \dots\dots\dots (2.32)$$

4) Rumus Mononobe

Rumus ini digunakan apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.33)$$

Keterangan:

I : intensitas hujan (mm/jam)

t : lamanya hujan (jam)

R24 : curah hujan maksimum harian selama 24 jam (mm)

2.2.7 Debit Banjir Rencana

Besaran debit banjir pada daerah pengaliran sungai dihitung berdasarkan metode hidrologi, metode yang biasa digunakan untuk menghitung debit banjir rencana umumnya menggunakan metode Rasional yang digunakan untuk luasan yang berkisar 0,5 – 25,0 mil² dan metode Nakayasu yang digunakan pada luasan >25,0 mil².

a. Metode Rasional

Metode untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak yang umum dipakai adalah metode Rasional USSCS (1973). Metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya, namun penggunaannya terbatas untuk DAS-DAS dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha. Karena model ini merupakan model kotak hitam, maka tidak dapat menerangkan hubungan curah hujan dan aliran permukaan dalam bentuk hidrograf. Metode rasional dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata di seluruh DAS selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi.

$$t_c = 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \dots\dots\dots (2.34)$$

Keterangan:

t_c : waktu konsentrasi hujan (menit)

L : jarak terjauh dari titik terjauh sampai saluran (km)

S : kemiringan saluran

Metode rasional ini dapat dinyatakan secara aljabar dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3,6} \dots\dots\dots (2.35)$$

Keterangan:

- Q : debit puncak banjir (m3/det)
- C : koefisien pengaliran
- A : luas daerah pengaliran(km2)
- I : intensitas hujan (mm/jam)

Suripin (2004) mengemukakan faktor utama yang mempengaruhi nilai C adalah laju infiltrasi tanah atau persentase lahan kedap air, kemiringan lahan, tanaman penutupan tanah dan intensitas hujan. Koefisien ini juga tergantung pada sifat dan kondisi tanah. Laju infiltrasi turun pada hujan yang terus-menerus dan juga dipengaruhi oleh kondisi kejenuhan air sebelumnya. Faktor lain yang juga mempengaruhi nilai C adalah air tanah, derajat kepadatan tanah, porositas tanah dan simpanan depresi. Berikut nilai C untuk berbagai tipe tanah dan penggunaan lahan (McGueen 1989 dalam Suripin 2003).

Tabel 2.2 tipe tanah dan penggunaan lahan

No.	Deskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien C
1.	Bisnis : - perkantoran - pinggir	0,70 - 0,95 0,50 - 0,70
2.	Perumahan : - rumah tinggal - multi unit terpisah - multi unit tergabung - perkampungan - apartemen	0,30 - 0,50 0,40 - 0,60 0,60 - 0,75 0,25 - 0,40 0,30 - 0,70
3	Industri - berat - ringan	0,50 - 0,80 0,60 - 0,90
4	Perkerasan - aspal dan beton - batu bata, paving	0,70 - 0,95 0,30 - 0,70
5	Atap	0,75 - 0,95
6	Halaman, tanah berpasir : - datar 2% - rata-rata 2-7% - curam 7%	0,05 - 0,10 0,10 - 0,15 0,15 - 0,20
7.	Halaman, tanah berat : - datar 2% rata rata 2-7% curam 7%	0,13 - 0,17 0,18 - 0,22 0,25 - 0,35
8.	Hutan : - datar 0-5% - bergelombang 5-10% - berbukit 10-30%	0,10 - 0,40 0,25 - 0,50 0,30 - 0,60

Sumber : McGueen, 1989 dalam Suripin, 2003

b. Metode Nakayasu

Untuk banjir rencana dapat data debit sungai dan curah hujan yang disebut analisa frekwensi (analisa berulangnya suatu peristiwa), baik jumlah frekwensi per satuan maupun periode ulangnya.

Adapun persamaan Nakayasu adalah sebagai berikut:

$$Q_p = A \frac{R_o}{0.3 T_p + T_{0.3}} + \dots \dots \dots (2.36)$$

Keterangan:

Q_p : Debit puncak banjir ($m^3/detik$)

A : Luasan daerah pengaliran (m^2)

R_o : Hujan satuan (mm)

T_p : Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$$T_g : T_g + 0,80 T_r \dots \dots \dots (2.37)$$

T_r : Satuan waktu hujan (jam)

$T^{0.3}$: Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit dari debit puncak sampai menjadi 30% debit puncak (jam)

$$T_{0.3} : \alpha \cdot T_g \dots \dots \dots (2.38)$$

$$: \alpha = \frac{0,47(A \cdot L)^{0,25}}{T_g} \dots \dots \dots (2.39)$$

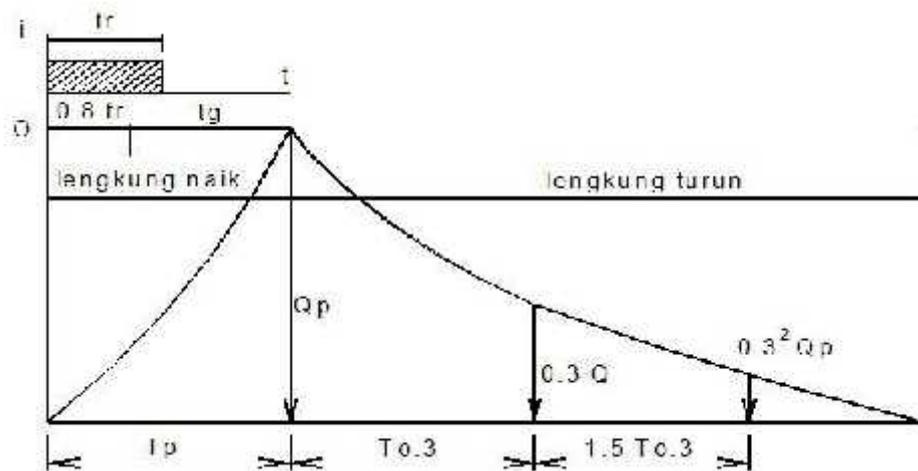
: Harganya berkisar Antara 1,50 – 3,50

L : Panjangnya sungai

T_g : Time lag, yaitu waktu aliran antara hujan sampai puncak banjir (jam)

$$T_g : 0,40 + 0,058 L \text{ untuk } L > 15 \text{ Km}$$

$$T_g : 0,21 L^{0,70} \text{ untuk } L < 15 \text{ Km}$$



Gambar 2.8 Nakayasu Unit Hydrograph

Sisi naik merupakan garis lurus, sedangkan sisi resesi merupakan lengkung eksponensial.

a. Kurva Naik

$$0 \leq t \leq T_p$$

$$Q_t = Q_p \cdot \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \dots\dots\dots (2.40)$$

b. Kurva Turun

1. $T_0 < t < T_p < T_{0,3}$ maka:

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}} \dots\dots\dots (2.41)$$

2. $(T_p + T_{0,3}) t < (T_p + T_{0,3} + T_{0,3}^2)$ maka:

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}} \dots\dots\dots (2.42)$$

3. $T > (T_p + T_{0,3} + T_{0,3}^2)$

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{2T_{0,3}}} \dots\dots\dots (2.43)$$

2.2.8 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan untuk Bergeraknya air dari titik aliran terjauh dari suatu DAS sampai dengan titik pelepasan. Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan menggunakan beberapa rumus.

1. Rumus Kirpich

$$t_c = 0,0195 \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0,77} \text{ menit} \dots\dots\dots (2.44)$$

$$S = \frac{\Delta H}{L} \dots\dots\dots (2.45)$$

Keterangan:

L : panjang sungai (m)

S : kemiringan sungai (desimal)

H : beda tinggi dari tempat terjauh sampai outlet yang dimaksud (m)

2. Rumus Giandotti

$$t_c = \frac{4A^{1/2} + 1,5L}{0,8h^{1/2}} \dots\dots\dots (2.46)$$

Keterangan:

t_c : waktu konsentrasi (jam)

A : luas daerah tangkapan (km²)

L : panjang sungai utama atau alur (km)

h : perbedaan antara tinggi rata-rata dari daerah tadah hujan dan ketinggian lokasi embung (m)

2.2.9 Analisa Debit Andalan (Q80)

Analisa debit andalan menggunakan metode analisa FJ. Mock, Metode Mock memperhitungkan data curah hujan, evapotranspirasi, dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran sungai. Hasil dari permodelan ini dapat dipercaya jika ada debit pengamatan sebagai pembanding. Oleh karena keterbatasan data di daerah studi maka proses pembandingan tidak dapat dilakukan. Untuk itu diperlukan pendekatan parameter hidrologi yang lebih cermat sehingga hasil simulasi dapat diterima dengan tingkat akurasi sedang tetapi masih dapat digunakan untuk analisa selanjutnya.

Data dan asumsi yang diperlukan untuk perhitungan Metode Mock adalah sebagai berikut :

1. Data curah hujan

Data curah hujan yang digunakan adalah curah hujan 15 (lima belas) harian. Stasiun curah hujan yang dipakai adalah stasiun yang dianggap mewakili kondisi hujan di daerah tersebut

2. Evapotranspirasi Terbatas (Et)

Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi actual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah serta frekuensi curah hujan.

Untuk menghitung evapotranspirasi terbatas diperlukan data :

a. Curah hujan setengah bulanan (P)

b. Jumlah hari hujan setengah bulanan (n)

c. Jumlah permukaan kering setengah bulanan (d) dihitung dengan asumsi bahwa tanah dalam suatu hari hanya mampu menahan air 12 mm dan selalu menguap sebesar 4 mm.

d. Exposed surface (m%) ditaksir berdasarkan peta tata guna lahan atau dengan asumsi :

m = 0% untuk lahan dengan hutan lebat,

m = 0% pada akhir musim hujan dan bertambah 10% setiap bulan kering untuk lahan sekunder,

m = 10% - 40% untuk lahan yang tererosi, dan

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian yang diolah.

2.2.9.1 Metode Perhitungan Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah perpaduan dua proses yaitu evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah proses penguapan atau hilangnya air dari permukaan tanah, sedangkan transpirasi adalah proses keluarnya air dari tanaman akibat proses respirasi dan fotosintesis.

Proses hilangnya air akibat evapotranspirasi ini merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam hidrologi. Besarnya nilai evapotranspirasi sangat dibutuhkan untuk tujuan perencanaan irigasi, konservasi air, serta proses irigasi itu sendiri. Besarnya Evapotranspirasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut:

1. Radiasi panas Matahari (Rd)

Radiasi panas matahari merupakan komponen sumber energi dalam memanaskan air, tanah, dan tanaman. Radiasi potensial sangat ditentukan oleh posisi geografis lokasi.

2. Kecepatan Angin (u)

Angin merupakan faktor yang menyebabkan terdistribusinya air yang telah diuapkan ke atmosfer, sehingga proses penguapan dapat berlangsung kontinyu sebelum terjadi kejenuhan kandungan uap udara.

3. Kelembapan (Rh)

Parameter kelembapan ini memegang peranan paling penting karena udara memiliki kemampuan untuk menyerap air sesuai kondisinya termasuk temperatur udara dan tekanan udara atmosfer.

4. Temperatur (°C)

Temperatur merupakan faktor yang tidak dapat dipisahkan dari intensitas dan lama waktu radiasi matahari. Temperatur ini berupa temperatur air, tanah, tanaman, dan temperatur atmosfer.

Terdapat beberapa metode yang bisa digunakan untuk menentukan besarnya nilai evapotranspirasi yaitu metode Thornthwaite, Blaney-Criddle, dan Penman modifikasi. Dalam perencanaan ini menggunakan metode Penman Modifikasi.

Rumus Metode Penman Modifikasi

$$ET_o = c (W \cdot R_n + (1 - W)f(u)(e_a - e_d) \dots\dots\dots (2.47)$$

Keterangan:

- c = Faktor koreksi akibat keadaan iklim siang atau malam
- W = Faktor bobot
- Rn = Radiasi netto
- F(u) = Fungsi kecepatan angin
- ea = Tekanan uap jenuh
- ed = Tekanan uap aktual

2.2.9.2 Metode FJ. Mock

F.J. Mock pada tahun 1973 mengusulkan suatu model simulasi keseimbangan air bulanan untuk daerah pengaliran di Indonesia. Model perhitungan ini didapat dari hujan, evapotranspirasi, tanah dan tampungan air tanah.

Model ini diterangkan dalam makalahnya *Guideline PSA 001* sebagai suatu pendekatan perkiraan debit bulanan. Buku pedoman ini menekankan bahwa, tidak ada debit bangkitan yang dapat dipercaya, sampai debit tersebut dikalibrasi dengan debit pengamatan. *Model Mock* ini juga disarankan didalam Standar Perencanaan Irigasi KP-01, tetapi tanpa uraian lebih lanjut bagaimana cara menggunakannya. Cara *Mock* ini cukup sederhana dalam perhitungannya dan terbukti sangat populer dikalangan konsultan Indonesia. Sangat banyak contoh perhitungan yang salah, karena para pengguna tidak mempelajari acuan yang asli, akan tetapi mengikuti studi kasus yang telah ada. Juga banyak para pengguna tidak biasa memperhatikan atau mencoba pilihan parameter yang ada. Hal ini terbukti dari banyaknya parameter yang digunakan diambil secara langsung dari studi kasus yang telah ada tanpa mengadakan pengecekan lebih lanjut pada penggunaannya. Kesalahan umum yang lain yang terjadi adalah tidak cukupnya data hujan dalam satu tahun secara berurutan dalam tenggang waktu tertentu.

Mock (1973) menjelaskan metode untuk menduga debit aliran sungai dengan tahapan - tahapan sebagai berikut :

Rumus untuk menghitung aliran permukaan terdiri dari :

- 1) Evapotranspirasi Terbatas (*Limited Evapotranspiration*)

$$DS = P - ET_p \dots\dots\dots (2.48)$$

$$E/ET_p = (m/20) \cdot (18 - n) \dots\dots\dots (2.49)$$

$$E = Et_p \cdot (m/20) \cdot (18-h) ET_t \dots\dots\dots (2.50)$$

$$ET_a = ET_p - E \quad \dots\dots\dots (2.51)$$

2) Keseimbangan Air (*Water Balance*)

$$WS = P - SS (DS) \quad \dots\dots\dots (2.52)$$

$$SS = SMC_n - SMC_{n-1} \dots\dots\dots (2.53)$$

$$SMC_n = SMC_{n-1} + P_1 \dots\dots\dots (2.54)$$

3) Neraca air di bawah permukaan

$$dV_n = V_n - V_{n-1} WS \quad \dots\dots\dots (2.55)$$

$$I = i \cdot WS \quad \dots\dots\dots (2.56)$$

$$V_n = 1/2 \cdot (1 + k) \cdot I + k \cdot V_{n-1} \quad \dots\dots\dots (2.57)$$

4) Aliran permukaan

$$R_o = BF + DR_o \quad \dots\dots\dots (2.58)$$

$$BF = 1 - dV_n \quad \dots\dots\dots (2.59)$$

$$DR_o = WS - I \quad \dots\dots\dots (2.60)$$

Keterangan :

DS = Hujan netto (mm)

P = Hujan (mm)

ET_p = Evapotranspirasi potensial (mm)

ET_a = Evapotranspirasi terbatas (mm)

WS = Kelebihan air (mm)

SS = Kandungan air tanah (mm)

SMC = Kelembaban tanah (mm)

dV = Perubahan kandungan air tanah (mm)

V = Kandungan air tanah (mm)

I = Laju infiltrasi (mm/dt)

i = Koefisien infiltrasi (<1)

k = Koefisien resesi aliran air tanah (<1)

DR_o = Aliran langsung (mm)

BF = Aliran air tanah (mm)

R_o = Aliran permukaan (mm)

n = Jumlah hari kalender dalam 1 bulan

m = Bobot lahan yang tidak tertutup vegetasi ($0 < m < 50 \%$)

Metode Mock memperhitungkan data curah hujan, evapotranspirasi, dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran sungai. Hasil dari permodelan ini dapat dipercaya jika ada debit pengamatan sebagai pembanding. Oleh karena keterbatasan data di daerah studi maka proses pembandingan

tidak dapat dilakukan. Untuk itu diperlukan pendekatan parameter hidrologi yang lebih cermat sehingga hasil simulasi dapat diterima dengan tingkat akurasi sedang tetapi masih dapat digunakan untuk analisa selanjutnya.

Model *F.J.Mock* memiliki lima parameter yang menggambarkan karakteristik DAS, meliputi:

1) Singkapan lahan

Singkapan lahan disesuaikan dengan penggunaan tata guna lahan. Prosentase singkapan lahan ini berpengaruh terhadap evapotranspirasi aktual yang terjadi yang membedakan dengan evapotranspirasi potensial.

2) Koefisien Infiltrasi

Infiltrasi adalah gerakan air dari atas ke dalam permukaan tanah. Gerakan air ini disebabkan antara lain oleh berat sendiri, rekahan tanah (celah tanah) yang cukup dan tingkat kejenuhan dari tanah tersebut. Koefisien infiltrasi (i) ditentukan berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Lahan yang porous maka infiltrasi akan besar, lahan yang terjal dimana air tidak sempat infiltrasi ke dalam tanah maka koefisien infiltrasi kecil. Besarnya koefisien infiltrasi lebih kecil dari 1.

3) Kapasitas kelembaban tanah

Kapasitas kelembaban tanah (*Soil Moisture Capacity*) ditaksir berdasarkan kondisi porositas lapisan tanah atas, biasanya ditaksir antara 50 mm – 250 mm, yaitu kapasitas kandungan air dalam tanah per m². Jika porositas tanah lapisan atas tersebut makin besar, maka *Soil Moisture Capacity* makin besar pula.

4) Penyimpanan awal

Penyimpanan awal (*initial storage*) adalah besarnya volume air pada saat awal perhitungan. Ditaksir sesuai dengan keadaan musim, seandainya bisa sama dengan *Soil Moisture Capacity* dan lebih kecil daripada musim kemarau.

5) Faktor resesi air tanah

Dalam perhitungan kandungan air tanah (*Ground Water Storage*) terdapat faktor resesi aliran air tanah (k), yaitu perbandingan air tanah pada suatu bulan dengan aliran air tanah pada awal bulan.

Rumus – rumus storage air tanah :

$$V_n = k \cdot V_{n-1} + \frac{1}{2} (1+k) \cdot I_n \quad \dots\dots\dots (2.61)$$

Dimana,

V_n = Volume air tanah

k = q_t/q_o = Faktor resesi aliran air tanah

q_t = Aliran air tanah pada periode ke t

q_o = Aliran air tanah pada awal periode ke t

dV_n = $V_n - V_{n-1}$

V_n = Volume air tanah bulan ke n

V_{n-1} = Volume air tanah bulan ke $n - 1$

2.3 Analisa Hidrolika

Jenis aliran dalam saluran dapat dibedakan menjadi 2 yaitu aliran dalam saluran tertutup dan aliran dalam saluran terbuka. Pada saluran terbuka aliran menerima pengaruh tekanan dari atmosfer sedangkan pada saluran tertutup tidak menerima pengaruh dari tekanan atmosfer. Sungai merupakan salah satu jenis saluran terbuka yang memiliki karakteristik aliran tertentu. Karakteristik aliran pada sungai dapat diklasifikasikan berdasarkan kecepatan yang berubah menurut waktu dan tempat, juga berdasarkan keadaan alirannya.

2.3.1 Aliran Steady dan Unsteady

Aliran dalam saluran terbuka dapat digolongkan dalam beberapa tipe. Jika penggolongan tersebut didasarkan pada perubahan kedalaman air menurut waktu, maka aliran dapat dibedakan menjadi:

1. Aliran Tetap

Dalam saluran terbuka dikatakan bertipe aliran tetap (*steady*) bila kedalaman kedalaman aliran tidak berubah atau dianggap konstan selama suatu selang waktu tertentu. Sebagian besar persoalan tentang saluran terbuka umumnya hanya memerlukan penelitian mengenai perilaku aliran dalam keadaan tetap.

2. Aliran Tidak Tetap

aliran dikatakan tidak tetap (*unsteady*) bila kedalamannya berubah sesuai dengan waktu. Banjir dan gelombang merupakan salah satu contoh kasus dimana analisa aliran dilakukan dengan pendekatan tidak tetap.

2.3.2 Aliran Seragam (*Uniform*) dan Tidak Seragam (*Non Uniform*)

1. Aliran seragam (*Uniform*)

Aliran saluran dikatakan seragam bila kedalaman aliran sama pada setiap penampang saluran. Suatu aliran seragam dapat bersifat tetap

atau tidak tetap, tergantung apakah kedalamannya berubah sesuai dengan perubahan waktu.

- a. Aliran Seragam Tetap (*Steady Uniform Flow*)
- b. Aliran Seragam Tidak Tetap (*Unsteady Uniform Flow*)

2. Aliran Berubah (*Varied Flow*)

Aliran disebut berubah (*Varied*) bila kedalaman aliran berubah disepanjang saluran. Aliran berubah dapat bersifat tetap ataupun tidak tetap.

- a. Aliran Berubah Tiba-tiba (*Rapidly Varied*)
- b. Aliran Berubah Lambat Laun (*Gradualiy Varied*)

2.3.3 Aliran Laminer dan Tubulen

Aliran memiliki keadaan yang berbeda-beda yang dipengaruhi oleh kekentalan dan gravitasi sehubungan dengan gaya-gaya inersia aliran. Tegangan permukaan air dalam keadaan tertentu dapat pula mempengaruhi perilaku aliran, tetapi pengaruh ini tidak terlalu besar dalam masalah saluran terbuka pada umumnya yang ditemui dalam dunia teknik. Aliran dapat bersifat laminar, turbulen, atau peralihan tergantung pada pengaruh kekentalan sehubungan dengan kelembaman (Inersia).

1. Aliran Laminer

Aliner dikatakan laminar apabila gaya kekentalan relative lemah dibandingkan dengan gaya inersia sehingga kekentalan berpengaruh terhadap perilaku aliran. Dalam aliran laminar, butir-butir air seolah-olah bergerak menurut lintasan tertentu yang teratur atau lurus, dan selapis cairan yang sangat tipis seperti menggelincir di atas lapisan sebelahnya.

2. Aliran turbulen

Aliran turbulen adalah apabila gaya kekentalan relative lemah dibandingkan dengan gaya kelembamannya. Pada aliran turbyulen, butir-butir air bergerak menurut lintasan yang tidak teratur, tidak lancar maupun tidak tetap, walaupun butir-butir tersebut tetap menunjukkan gerak maju dalam aliran secara keseluruhan.

3. Aliran peralihan

Aliran peralihan merupakan kondisi aliran diantara aliran laminar dan aliran turbulen. Pengaruh kekentalan relative terhadap kelembaman dapat dinyatakan dengan bilangan *Reynolds*, yang didefinisikan sebagai:

$$R_e = \frac{VL}{\theta} \dots\dots\dots (2.62)$$

Dimana V adalah kecepatan aliran, L adalah jari-jari hidrolis dan adalah kekentalan kinematis. Menurut banyak percobaan pada saluran terbuka, bila $Re < 2000$, aliran adalah laminar. Sedangkan bila $Re > 50000$, maka aliran adalah turbulen dengan nilai Re diantara 2000-50000 masuk dalam kategori aliran peralihan.

2.3.4 Aliran Sub-Kritis, Kritis, dan Super Kritis

Gravitasi bumi memiliki pengaruh terhadap aliran air yang berada pada saluran terbuka, Akibat gaya tarik bumi terhadap keadaan aliran dinyatakan dengan rasio gaya inersia dengan gaya tarik bumi. Rasio ini ditetapkan sebagai bilangan *Froude* yang didefinisikan sebagai:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \dots\dots\dots (2.63)$$

Dimana:

Fr = Bilangan Froude

V = Kecepatan rata – rata aliran (m/det)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

Apabila $Fr = 1$ berarti $V = \sqrt{gD}$ maka aliran dinamakan dalam keadaan kritis (aliran kritis). Bila Fr lebih kecil dari 1, atau $V < \sqrt{gD}$ aliran adalah sub-kritis. Dalam hal ini gaya gravitasi memegang peranan penting, aliran mempunyai kecepatan kecil yang biasanya ditunjukkan sebagai aliran yang tenang atau disebut mengalir biasa. Bila Fr lebih besar dari 1 atau $V > \sqrt{gD}$ aliran adalah superkritis. Dalam hal ini gaya inersia menjadi dominan (memegang peranan) sehingga kecepatan aliran besar dan biasanya terlihat dari alirannya yang deras atau biasa disebut air mengalir deras atau menjeram.

2.3.5 Kapasitas Eksisting Sungai (*fullbank capacity*)

Kapasitas eksisting merupakan besaran daya tampung suatu saluran/sungai yang di hitung berdasarkan debit maksimum yang masuk ke dalam saluran. Dari perhitungan kapasitas saluran/sungai tersebut akan diketahui apakah saluran eksisting masih mampu menampung debit yang mengalir atau tidak. Dalam perhitungan *fullbank capacity* tersebut digunakan persamaan kontinuitas dan rumus sebagai berikut:

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots (2.64)$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \dots\dots\dots (2.65)$$

$$A = (b + mh) h \dots\dots\dots (2.66)$$

$$P = b + 2h \sqrt{m^2 + 1} \dots\dots\dots (2.67)$$

$$R = A/P \dots\dots\dots (2.68)$$

Dimana:

Q = debit saluran (m^3/dt),

V = kecepatan aliran (m/dt),

A = Luas penampang basah saluran (m^2),

N = koefisien kekasaran Manning,

R = jari-jari hidrolisis (m),

S = Kemiringan saluran,

P = Keliling basah saluran (m),

b = lebar dasar saluran 9m0,

h = tinggi air (m),

m = kemiringan talud

(Suripin, 2004, 145-148)

2.3.6 Gerusan Lokal (*Scouring*)

Gerusan Lokal adalah degradasi pada dasar atau tebing sungai yang terjadi pada suatu tempat tertentu sebagai akibat adanya perubahan tiba - tiba /mendadak dari parameter sungai (misalnya; geometri sungai, kemiringan dasar sungai, kecepatan aliran atau adanya struktur di badan sungai).

2.3.6.1 Tipe Scouring

Proses gerusan terjadi karena adanya perubahan pola aliran yang melewati suatu penampang sungai sehingga partikel-partikel dasar sungai akan terangkut dan ditransportasikan dari daerah asalnya selapis demi selapis dan proses tersebut terjadi berulang-ulang sampai mencapai suatu keseimbangan dasar sungai yang baru.

Menurut Raudkivi dan Eterna (1982) tipe gerusan dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu:

- a. Gerusan umum di alur sungai, tidak berkaitan sama sekali dengan ada atau tidaknya bangunan sungai.
- b. Gerusan dilokalisir di arus sungai, terjadi karena penyempitan aliran sungai
- c. Gerusan lokal disekitar bangunan, terjadi karena pola aliran lokal sekitar bangunan sungai.

Gerusan dari jenis yang di sebutkan pada bagian (b) dan (c) selanjutnya dapat dibedakan menjadi gerusan dengan air bersih (*Clear Water Scour*) maupun gerusan dengan air bersedimen (*Live Bed Scour*). *Clear Water Scour*

berkaitan dengan suatu keadaan dimana dasar sungai di sebelah hulu bangunan dalam keadaan diam (tidak ada material yang terangkut) atau secara teoritik $T_0 < T_c$ Sedangkan *live bed scour* terjadi ketika kondisi aliran dalam sungai menyebabkan material dasar bergerak atau secara teoritik $T_0 > T_c$.

2.3.7 Gerusan Dalam Perbedaan Kondisi Angkutan

Kondisi *clear water scour* dimana terjadi jika material dasar sungai di sebelah hulu gerusan dalam keadaan diam atau tidak terangkut. Terdapat 2 kondisi dari *clear water scour*:

- Untuk $\frac{U}{U_{cr}} \leq 0,5$ maka gerusan lokal tidak terjadi dan proses transportasi sediment tidak terjadi.
- Apabila $0,5 \leq \frac{U}{U_{cr}} \leq 1$ gerusan lokal terjadi secara terus menerus dan proses sedimen tidak terjadi.

Kondisi *live bed scour* dimana gerusan yang juga disertai dengan angkutan sedimen material dasar sungai, jika:

$$\frac{U}{U_{cr}} > 1 \dots\dots\dots (2.69)$$

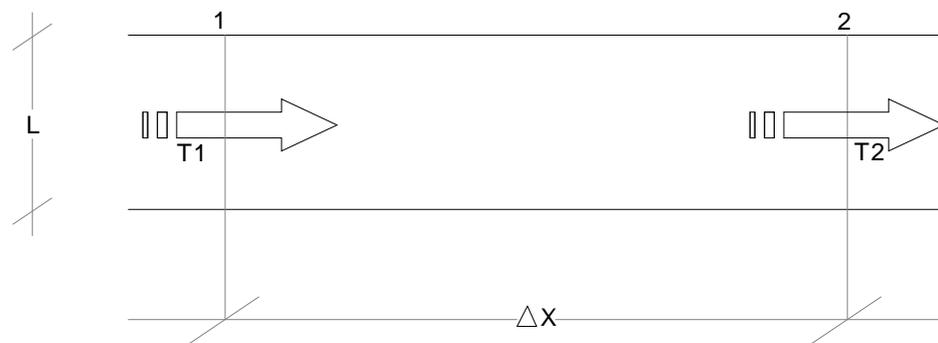
Dimana:

U = Kecepatan aliran rata – rata (m/det)

U_{cr} = Kecepatan aliran kritis (m/det)

2.3.8 Keseimbangan Penggerusan

Terjadinya penggerusan disebabkan karena gaya seret (*Tractive Force*) lebih besar daripada gaya – gaya tanah dasar, atau akibat gaya seret (*tractive force*) yang bertambah pada suatu waktu untuk lokasi tertentu. Akan tetapi selain gaya tersebut juga ditentukan oleh sejumlah sedimen yang dibawa oleh aliran tersebut, seperti yang dikemukakan oleh H.C Frijlink (1968), bahwa kriteria penggerusan dan pengendapan pada suatu sungai sejauh X dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 2.9 Sketsa Pergerakan Aliran Sungai

Ditinjau penampang sungai seperti pada Gambar 2.5, pergerakan aliran dari penampang 1 (satu) ke penampang 2 (dua) sejauh X akan terjadi penggerusan apabila kapasitas sediment (T) yang terjadi $T_2 > T_1$ dan dapat diekspresikan secara formula yaitu $dT/dx > 0$, dimana x adalah panjang koordinat yang diukur sepanjang garis sumbu (garis tengah) sungai. Jika $T_2 < T_1$ maka material dibawa T_1 , akan diendapkan sebesar T , dimana $T = T_1 - T_2$ pada penampang 1 (satu) dan penampang 2 (dua) sejauh X dan dapat diformulasikan $dT/dx < 0$. Secara umum bahwa kondisi keseimbangan aliran air tercapai ($h = h_e$, dimana h_e adalah h equilibrium atau keseimbangan kedalaman). Jika kondisi hal ini tercapai, maka tidak akan terjadi gerusan (scouring) maupun pengendapan.

2.4 Jenis Bangunan Pengarah Aliran Pada sungai

2.4.1 Bronjong (Gabions)

Bronjong atau Gabions adalah kotak yang terbuat dari anyaman kawat baja berlapis seng yang pada penggunaannya diisi batu-batu untuk mencegah erosi yang dipasang pada tebing-tebing, tepi-tepi sungai, bronjong juga dapat digunakan sebagai pengarah arus pada sungai.

Kawat Bronjong atau Gabion banyak digunakan pada tebing-tebing tanah agar tidak terjadi longsor. Dan juga sering kita jumpai pada tebing-tebing sungai untuk pelaksanaan pekerjaan normalisasi sungai atau untuk mengatasi gerusan air sungai yang deras. Kekuatan kawat bronjong tergantung pada bahan-bahan yang dipakai untuk bronjong, benda-benda yang hanyut melalui bronjong, agresif atau tidaknya dari air yang mengalir di situ, adanya gangguan-gangguan dan baik tidaknya pembuatan, pemasangan dan pemeliharaan bronjong-bronjong itu sendiri.

Adapun fungsi atau kegunaan bronjong atau gabion:

1. Melindungi dan memperkuat tebing tanah, baik lereng sungai maupun lereng tanggul.
2. Menjaga tepi sungai terhadap arus aliran air dan usaha menjauhkan arus aliran air dari tepi sungai yang merusak tebing-tebingnya (erosi).
3. Membuat bendung untuk meninggikan taraf muka air.

Keunggulan dari bronjong yaitu dibandingkan dengan konstruksi penahan dan pengarah aliran lainnya seperti yang terbuat dari beton, bronjong memiliki beberapa keunggulan tersendiri. Pertama, bronjong bersifat fleksibel sehingga bisa mengikuti pergerakan tanah yang ada di bawahnya tanpa harus

merusak konstruksi dasar. Kedua, tumpukan batu-batu di dalam bronjong ini memungkinkan air untuk mengalir di sela-selanya sehingga tekanan tanah akan berkurang dan mengurangi resiko tanah longsor. Khususnya untuk bangunan yang berada di sekitar tebing. Ketiga, harga bronjong jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan penahan dari beton. Kawatnya mudah didapatkan, begitu juga dengan batu-batu pengisinya. Harga yang ekonomis ini juga dipengaruhi oleh teknik pembuatan dan biaya pengiriman karena bobot kawat sangat ringan dibandingkan dengan beton.

2.4.2 RipRap Batu

Riprap adalah bangunan pengaman tebing yang melindungi dari gerusan dengan lapisan batuan. Gerusan yang terjadi umumnya akibat erosi yang terjadi di dasar atau bagian bawah tebing. Lapisan batuan dapat memperlambat atau menghentikan erosi yang terjadi akibat limpasan air yang mengalir di dasar tebing dan juga mengarahkan aliran air pada sungai. Lapisan batu riprap menahan erosi melalui kombinasi ukuran batu dan berat, daya tahan batu, dan gradasi dan ketebalan selimut riprap. Interlocking sudut batuan menyediakan resistensi terhadap gerakan antar blokbatu pelindung. Karakteristik aliran juga sangat mempengaruhi stabilitas pelindung riprap. Gerusan lokal, yang dipengaruhi oleh karakteristik aliran dan bed load, menentukan perlindungan yang diperlukan pada dasar pelindung, kemiringan saluran umumnya mengikuti dari kemiringan tebing yang ada.

Riprap batu digunakan pada sungai kecil hingga sedang dan pada semua tipe karakter sungai umumnya digunakan pada sungai dengan kecepatan air melebihi 2 m/s atau pada tebing dimana perlindungan dengan tanaman saja tidak cukup dan juga digunakan pada sungai dengan muka air yang berfluktuasi.

2.4.2.1 Syarat Perencanaan Riprap Batu

Syarat perencanaan riprap batu terdiri dari:

- a. Tebing yang dilindungi oleh riprap haruslah bebas dari semak-semak, pepohonan, tunggul, dan objek material lainnya yang mengganggu kerataan permukaan slope.
- b. Semua material yang lembut atau berongga dipindahkan ke bagian dalam tanah dan digantikan dengan material alami lainnya.

- c. Daerah pengisian dipadatkan sebagai embankment Untuk Toe trench digali dan dijaga sampai riprap telah diletakkan.
- d. Perlindungan terhadap struktur pondasi harus dilakukan secepatnya setelah konstruksi pondasi diizinkan untuk dimulai. Daerah yang dijaga haruslah terbebas dari material sisa dan begitu juga permukaannya.
- e. Tipe riprap akan disesuaikan dengan spesifikasi yang telah di modifikasi oleh ketentuan khusus.

Filter blanket atau filter fabric diletakkan pada slope yang telah disediakan atau daerah dengan perlindungan pondasi sebelum batuan diletakkan.

2.4.3 Turap

Turap adalah konstruksi yang dapat menahan tekanan tanah di sekelilingnya, mencegah terjadinya kelongsoran dan biasanya terdiri dari dinding turap dan penyangganya. Konstruksi dinding turap terdiri dari beberapa lembaran turap yang dipancangkan ke dalam tanah, serta membentuk formasi dinding menerus vertikal yang berguna untuk menahan timbunan tanah atau tanah yang berlereng. Turap terdiri dari bagian - bagian yang dibuat terlebih dahulu (pre-fabricated) atau dicetak terlebih dahulu (pre-cast). (Sri Respati, 1995).

2.4.3.1 Fungsi Turap

Fungsi turap adalah ;

- a. Struktur penahan tanah, misalnya pada tebing jalan raya atau tebing sungai
- b. Struktur penahan tanah pada galian
- c. Struktur penahan tanah yang berlereng atau curam agar tanah tersebut tidak longsor
- d. Konstruksi bangunan yang ringan, saat kondisi tanah kurang mampu untuk mendukung dinding penahan tanah

2.4.3.2 Jenis – jenis Turap

- a. Turap Kayu

Turap kayu digunakan untuk dinding penahan tanah yang tidak begitu tinggi, karena tidak kuat menahan beban - beban lateral yang besar. Turap ini tidak cocok digunakan pada tanah berkerikil, karena turap cenderung pecah bila dipancang. Bila turap kayu digunakan untuk bangunan permanen yang berada di atas muka air, maka perlu diberikan lapisan pelindung agar tidak mudah lapuk. Turap kayu banyak digunakan pada pekerjaan - pekerjaan sementara, misalnya untuk penahan tebing galian.

b. Turap Beton

Turap beton merupakan balok - balok yang telah di cetak sebelum dipasang dengan bentuk tertentu. Balok - balok turap dibuat saling mengkait satu sama lain. Masing - masing balok, kecuali dirancang kuat menahan beban - beban yang bekerja pada turap, juga terhadap beban - beban yang akan bekerja pada waktu pengangkatannya. Ujung bawah turap biasanya dibentuk meruncing untuk memudahkan pemancangan. Turap beton biasa digunakan pada bangunan permanen atau pada detail - detail konstruksi yang agak sulit.

c. Turap Baja

Turap baja adalah jenis paling umum yang digunakan, baik digunakan untuk bangunan permanen atau sementara karena beberapa sifat - sifatnya sebagai berikut:

1. Tahan terhadap tegangan dorong tinggi yang dikembangkan di dalam bahan keras atau bahan batuan
2. Mempunyai berat relatif yang tinggi
3. Dapat dipakai berulang - ulang
4. Umur pemakaiannya cukup panjang baik di atas maupun di bawah air dengan perlindungan sederhana menurut NBS (1962) yang meringkaskan data tentang sejumlah tiang pancang yang diperiksa setelah pemakaian yang berlangsung lama
5. Mudah menambah panjang tiang pancang dengan mengelas maupun dengan memasang baut
6. Sambungan - sambungan sangat sedikit mengalami deformasi bila di desak penuh dengan tanah dan batuan selama pemancangan

2.4.3.3 Syarat Perencanaan Turap

Berdasarkan hasil penelitian dan survey lapangan yang telah dilakukan pada lokasi yang akan dibangunnya turap ini, serta dengan mempertimbangkan tingkat kesulitan dalam pelaksanaannya, disusun beberapa konsep perencanaan turap antara lain:

- a. Turap yang direncanakan tidak mengganggu atau merusak aliran air sungai (tidak mengganggu luas penampang basah sungai)
- b. Turap berfungsi sebagai dinding yang dapat menahan kelongsoran tebing sungai dan melindungi tebing sungai terhadap gerusan air.

- c. Turap dapat menahan tekanan tanah aktif serta tekanan air dan beban - beban lainnya yang bekerja pada dinding turap.
- d. Turap direncanakan memiliki ketahanan jangka panjang pada lingkungan dengan siklus basah, kering dan dan lembab.
- e. Turap juga berfungsi sebagai pelataran terbuka (open space) yang dapat dimanfaatkan untuk kegiatan publik.
- f. Struktur turap terdiri dari tiang turap, dinding turap dan plat penutup tiang (pile cap).
- g. Dinding turap memiliki tekanan tanah lateral tanah aktif dan air, sedangkan tiang turap berfungsi memiliki gaya aksial dan lateral yang bekerja pada dinding turap, lantai penutup berfungsi sebagai beban aksial (counter weight) dan juga dapat dimanfaatkan sebagai open space.

2.4.4 Krib

Krib adalah bangunan, yang dibuat mulai dari tebing sungai kearah tengah guna mengatur arus sungai dan tujuan utamanya adalah mengatur arus sungai, mengurangi kecepatan arus sungai sepanjang tebing sungai, mempercepat sedimentasi, menjamin keamanan tanggul atau tebing terhadap gerusan, mempertahankan lebar dan kedalaman air pada alur sungai, mengonsentrasikan arus sungai dan memudahkan penyadapan. Jadi krib merupakan bangunan yang secara efektif mengatur arah arus sungai dan mempunyai dampak positif yang besar jika dibangun secara benar dan sesuai dengan bentuk dan ukurannya. Pemasangan krib dapat mengalirkan aliran ke tengah alur sungai dan tidak membahayakan tebing sungai sehingga tercipta suatu alur sungai yang stabil.

Dalam perencanaan krib harus diperhitungkan terhadap kedalaman air dan pola gerusan, besarnya degradasi sungai yang diperkirakan akan terjadi dan mempengaruhi kestabilannya (Sosrodarsono Suyono, 2008). Menurut SK SNI T-01-1990-F fungsi dan jenis krib adalah sebagai berikut:

2.4.4.1 Fungsi Krib

- a. Krib sebagai perlindungan tebing sungai secara tidak langsung dari gerusan lokal atau bahaya gejala meander. Misanya pada tebing sungai yang dekat daerah potensial, pada belokan sungai.
- b. Krib sebagai pengatur / pengarah arus sungai sesuai dengan tujuannya misalnya pada bagian atas bangunan pengambilan terjadi perubahan arah arus.

- c. Krib sebagai perbaikan alinemen sungai untuk keperluan tertentu. Krib di pasang pada kiri – kanan tebing sungai untuk mempertahankan lebar dan kedalaman sungai yang di pakai untuk navigasi.

2.4.4.2 Jenis Krib

- a. Berdasarkan bahan pembuatannya
 - 1. Krib beton bertulang
 - 2. Krib kayu
 - 3. Krib pasangan batu
 - 4. Krib bronjong
- b. Berdasarkan sifat hidrauliknya
 - 1. Krib lurus air
 - 2. Krib kedap air
 - 3. Krib semi lurus air
- c. Berdasarkan arah pemasangannya
 - 1. Krib melintang sungai yaitu dipasang melintang arah aliran
 - 2. Krib memanjang yaitu dipasang sejajar arah aliran.
- d. Berdasarkan letak pemasangan terhadap muka air
 - 1. Krib yang mercunya setinggi batas bantaran
 - 2. Krib yang diletakkan di dasar sungai

2.4.4.3 Klasifikasi Krib

Adapun klasifikasi krib adalah sebagai berikut:

- a. Krib permeable

Pada tipe permeabel air dapat mengalirkan melalui tubuh krib. Bangunan ini akan melindungi tebing terhadap gerusan arus sungai dengan cara meredam energi yang terkandung dalam aliran sepanjang tebing sungai dan bersamaan dengan itu mengendapkan sedimen yang terkandung dalam aliran. Krib permeabel terbagi dalam beberapa jenis, antara lain jenis tiang pancang, rangka piramid dan jenis rangka kotak.

- b. Krib impermeable

Krib dengan konstruksi tipe impermeabel disebut juga krib padat sebab air sungai tidak dapat mengalir melalui tubuh krib. Bangunan ini digunakan untuk membelokkan arah arus sungai dan karenanya sering terjadi gerusan yang cukup dalam didepan ujung krib atau bagian sungai sebelah hilirnya. Krib impermeabel dapat dibedakan atas 2 jenis, yaitu jenis yang terbenam dan tidak terbenam. Pada jenis yang terbenam biasanya terjadi penggerusan yang

dalam di sisi hilir krib, karena krib terlimpas arus air, sehingga di sisi hilirnya berfungsi sebagai kolam olakan. Sedangkan pada jenis yang tidak terbenam sering menyebabkan terjadinya turbulensi aliran di bagian ujung dari krib – krib tersebut dan menimbulkan gerusan yang cukup dalam pula. Untuk mencegah gerusan, dipertimbangkan penempatan pelindung dengan konstruksi fleksibel seperti matras atau hamparan pelindung batu sebagai pelengkap dari krib padat. Dari segi konstruksi, terdapat beberapa jenis krib impermeabel misalnya bronjong kawat, matras dan pasangan batu.

c. Krib semi permeable

Krib semi permeabel ini berfungsi ganda yaitu sebagai krib permeabel dan krib impermeabel. Biasanya bagian yang padat terletak di sebelah bawah dan berfungsi pula sebagai pondasi. Sedang bagian atasnya merupakan konstruksi yang permeabel disesuaikan dengan fungsi dan kondisi setempat.

d. Krib silang dan memanjang

Krib yang formasinya tegak lurus atau hampir tegak lurus sungai dapat merintang arus dinamakan krib melintang. Sedangkan krib yang formasinya hampir sejajar arah arus sungai disebut krib memanjang.

2.4.4.4 Pemilihan Jenis Krib

Jenis krib yang sesuai untuk suatu lokasi harus ditentukan berdasarkan rezim sungai pada lokasi tersebut dengan memperhatikan tujuan pembuatan, tingkat kesulitan dan jangka waktu pelaksanaan yang diperlukan (lihat Tabel 2.3). Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan jenis krib adalah sebagai berikut.

a. Tujuan pemasangan krib

1. Melindungi tebing pada tikungan luar secara tidak langsung dan untuk mempertahankan alur bagi navigasi digunakan serial krib permeabel dari tiang pancang.
2. Melindungi tebing secara tidak langsung dan atau pengaturan alur sungai yang memerlukan faktor estetika seperti pengaturan sungai dalam kota digunakan serial krib dari pasangan batu.
3. Melindungi tebing yang bersifat sementara digunakan krib dari kayu.
4. Mengarahkan aliran ke tengah sungai digunakan krib impermeabel.

Jenis tanah pada dasar dan tebing sungai

1. Tebing yang mudah longsor digunakan krib tiang pancang; crucuk kayu/bambu.

2. Dasar sungai yang lunak digunakan krib tiang pancang; dengan kedalaman pemancangan disesuaikan dengan kondisi tersebut.
 3. Dasar sungai yang cukup padat menggunakan krib bronjong, pasangan batu kali atau juga blok beton.
 4. Tebing sungai yang tinggi dipakai krib tiang pancang dengan pertimbangan kemudahan pelaksanaan.
 5. Tebing yang rendah atau alur sungai tidak dalam dapat digunakan krib pasangan batu dan krib bronjong batu.
- b. Jenis sungai
1. Sungai lebar dengan arus tidak deras pada kemiringan dasar sungai $< 1/1000$ dipakai krib tiang pancang atau krib permeabel bercelah besar.
 2. Sungai lebar dengan arus deras pada kemiringan dasar sungai antara $1/50$ sampai $1/500$ dipakai krib tipe rangka dengan digabung blok beton.
- Sungai-sungai kecil atau alur sempit tidak perlu dipasang krib karena tidak dapat berfungsi dengan baik.

Tabel 2.3 Hubungan jenis krib dan jenis/bagian sungai

Jenis krib	Bahan pokok	Jenis/bagian sungai	Keterangan
pasangan batu	batu kalisetempat	sungai sedang & kecil	sesuai untuk lokasi agar mudah didapat batu pecah
blok beton	lok beton cetak di tempat blok beton pra cetak	bagian berarus deras bagian berarus deras	jika lokasi pekerjaan memungkinkan
tiang pancang	kayu/bambu dan beton	bagian berarus tidak deras	terbatas pada lokasi-lokasi yang memungkinkan pemancangan

Sumber: Suyono Sosrodarsono, 1990

2.4.4.5 Penentuan Tata Letak Krib

Penentuan tata letak krib dengan mengacu pada standar Tata cara analisis hidrologi dan hidraulik untuk desain bangunan di sungai (SNI-1724), dengan meninjau hal-hal sebagai berikut:

- a. Pemasangan konstruksi krib baik untuk perlindungan tebing maupun perbaikan arah aliran pada suatu daerah krib, harus mempertimbangkan perencanaan sungai secara keseluruhan, dalam rangka mewujudkan konsep pengelolaan sungai secara terpadu.

- b. Daerah krib harus ditentukan berdasar ketentuan dan dipilih sesuai dengan fungsinya.
 - 1. Di tikungan luar sungai untuk melindungi tebing dari perkembangan sungai arah mendatar.
 - 2. Di tempat longsor atau gerusan tebing untuk mengembalikan stabilitas tebing dan kondisi aliran.
 - 3. Di alur sungai pada debit kecil untuk mengarahkan aliran, umpamanya agar aliran dapat mengalir menuju dan masuk ke bangunan pengambil.
- c. Letak krib di daerah krib
 - 1. Krib dipasang dengan jarak optimal.
 - 2. Letak krib dengan arah tegak lurus paling efektif untuk menciptakan medan krib, sehingga krib tegak lurus paling sesuai untuk pelindung tebing dan pengatur alinyemen horisontal alur sungai.
 - 3. Pangkal krib diletakkan pada tebing yang mantap untuk menghindari terobosan arus di belakang krib dan agar tahan terhadap longsor tebing, sedangkan untuk tebing dengan tanah yang tidak mantap harus dipertimbangkan berdasar kekuatan sesuai karakteristik butiran tanah.
 - 4. Ujung krib diletakkan pada garis sejajar aliran sepanjang daerah krib atau ditentukan dengan uji model hidraulik.
 - 5. Krib untuk pendalaman alur bagi navigasi diletakkan pada kedua tebing sungai sepanjang alur yang dikehendaki dengan arah tegak lurus (dapat ditambah krib memanjang pada ujung krib) atau arah tajam.

Peletakan krib sepanjang daerah krib, diambil berdasarkan panjang tebing yang perlu dilindungi dengan memperhitungkan kemungkinan perubahan arus pada keadaan krib terpasang.

2.4.4.6 Proses Perencanaan Krib

Dalam proses perencanaan krib, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan:

- a. Mengingat metode pembuatan krib sangat tergantung dari resim sungainya perlu diperoleh data mengenai pengalaman pembuatan krib pada sungai yang samadan hampir sama, kemudahan pelaksanaannya dan besarnya pembiayaan.
- b. Pada sungai – sungai yang terlalu lebar dan untuk mengurangi turbulensi aliran, maka permukaan air sungai normalnya harus dinaikkan sedemikian

rupa dengan krib yang panjang, akan tetapi panjangnya harus dibatasi secukupnya karena krib yang terlalu panjang disamping biaya pembangunannya lebih tinggi, pemeliharaannya akan lebih mahal dan lebih sulit.

- c. Apabila krib yang akan dibangun antara lain untuk melindungi tebing sungai terhadap pukulan air, maka panjang krib semacam ini harus dibatasi, karena krib yang terlalu panjang akan menyebabkan timbulnya pukulan air pada tebing sungai disebaliknya.
- d. Krib tidak dapat berfungsi dengan baik pada sungai yang kecil atau sempit alurnya.
- e. Apabila pembuatan krib dimaksudkan untuk untuk menaikkan permukaan normal sungai, maka perlu dipertimbangkan kapasitasnya di saat terjadinya debit yang lebih besar atau debit banjir.

2.4.4.7 Perencanaan Krib Sungai

Krib adalah bangunan yang dibuat mulai dari tebing kearah tengah guna mengatur arah arus sungai mempercepat sedimentasi, dan menjamin keamanan tanggul atau tebing sungai terhadap gerusan (Sosrodarsono, 173). Metode pembuatan krib tergantung pada data dan bentuk morfologi dari sungai. Secara garis besar krib diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu krib *permeable*, krib *impermeable* dan krib *semi permeable*.

Dari segi pemasangan terhadap arah arus sungai krib dibedakan menjadi dua yaitu krib silang dan krib memanjang. Krib silang (*transversal dyke*) dipasang melintang merintang arus sungai sedangkan krib memanjang (*longitudinal dyke*), formasi hampir sejajar arah arus sungai (Sosro darsono).

Langkah – langkah perencanaan bangunan krib sebagai berikut:

- 1. Menghitung jari – jari lengkungan untuk bagian muka krib (R)

$$R = \sqrt{qd} \dots\dots\dots (2.70)$$

Keterangan:

qd = Debit nominan alur penuh

R = Jari – jari lengkungan muka krib

- 2. Elevasi muka krib ditetapkan sama tinggi dengan elevasi muka air banjir (m.a debit alur penuh)
- 3. Panjang efektif krib (l), sangat tergantung dari lokasi dan pada umumnya diambil maksimum 1/10 lebar sungai.
- 4. Jarak antar krib (d)

$$\frac{2.g.d}{c^2.h} < 1 \text{ untuk arus kuat} \dots\dots\dots (2.71)$$

$$\frac{2.g.d}{c^2.h} < 0,6 \text{ untuk arus lemah} \dots\dots\dots (2.72)$$

Keterangan:

g = Gravitasi bumi (m/dt₂s)

c = Koefisien Chezy

h = Kedalaman air (m)

d = Jarak antar krib (m)

5. Perhitungan gerusan yang terjadi untuk menetapkan kedalaman pondasi krib:

$$d_3 = 0,00022 \left[\frac{b.v^m}{v} \right]^{0.619} \dots\dots\dots (2.73)$$

6. Gaya yang bekerja pada krib adalah sebagai berikut:

a. Beban akibat tekanan arus

$$P1 = \frac{1}{9,78} v^2 . b . h \dots\dots\dots (2.74)$$

Keterangan:

P1 = Beban arus

K = Koefisien bentuk krib

V = Kecepatan rata – rata untuk debit alur penuh (m/dt)

B = Panjang krib yang terserang arus

H = Tinggi krib yang terserang arus

b. Beban tambahan akibat penumpukan sampah

$$P2 = \frac{1}{9,78} xk . v^2 . bts . ht \dots\dots\dots (2.75)$$

Keterangan:

P2 = Beban akibat penumpukan sampah

K = Koefisien (diambil 0,52)

V = Kecepatan untuk debit alur penuh

ht = tebal penumpukan sampah (diambil 1 m)

c. Tekanan tanah aktif

$$Ka = \frac{\sin^2 (90^0 - \phi)}{\left[1 - \sqrt{\frac{\sin \alpha . \sin (\phi - \beta)}{\sin (90^2 + \beta)}} \right]^2} \dots\dots\dots (2.76)$$

$$Pa = \gamma_{sat} h . Ka . \lambda \dots\dots\dots (2.77)$$

Keterangan:

γ_{sat} = Berat isi jenuh tanah (kn/m²)

L = Lebar krib yang berpengaruh terhadap tekanan tanah aktif

Ka – Koefisien tanah aktif

d. Tekanan tanah pasif

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot ds \cdot \gamma_{sat} \cdot kp \cdot l \quad \dots\dots\dots (2.77)$$

$$KP = tg^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (2.78)$$

Keterangan:

KP = koefisien tekanan tanah pasif

ϕ = Sudut geser tanah

γ_{sat} = Berat isi jenuh tanah (kn/m²)

L = Lebar krib yang berpengaruh terhadap tekanan tanah pasif

2.4.4.8 Panjang dan Interval Krib

Panjang krib tergantung seberapa jauh aliran sungai akan dialihkan agar tidak mengenai tebing sungai. Pada bagian sungai yang mengalami pukulan air, jarak antara krib yang berdekatan dibuat lebih rapat karena daya gerus arus akan melebar sampai ke tebing sungai. Salah satu rumus untuk menentukan panjang krib; menurut *Gupta et al* (1969)

$$L/B = 0,11 (n F^{0,5})^{1,5} \quad \dots\dots\dots (2.79)$$

Dimana L adalah panjang krib, B adalah lebar muka air sungai debit rencana atau debit penuh (*bankfull discharge*), F adalah bilangan Froude, n adalah koefisien empiris ($n = d/L = 2 \text{ s/d } 5$) dan d adalah jarak antar krib.

Menurut Varshney and Mathur (1972), rumus untuk menghitung panjang krib dapat dibagi menjadi tiga kelas, yaitu:

1. Untuk 2 unit krib dan $Q < 2800 \text{ m}^3/\text{dt}$, maka:

$$L/B = 0,755 (A^{0,5} / F^{1,5}) - 0,65 \quad \dots\dots\dots (2.80)$$

2. Untuk 2 unit krib dan $Q > 2800 \text{ m}^3/\text{dt}$, maka:

$$L/B = 0,469 (A / F) - 0,45 \quad \dots\dots\dots (2.81)$$

3. Untuk lebih dari 2 unit krib dan $Q > 2800 \text{ m}^3/\text{dt}$, maka:

$$L/B = 0,369 (A^{2,5} / F^{1,5}) - 0,22 \quad \dots\dots\dots (2.82)$$

Dimana L adalah panjang krib, B adalah lebar sungai saat debit maksimum. Selain menggunakan rumus empiris penentuan panjang krib dapat ditetapkan secara empiris, hanya dengan perkiraan semata – mata dan didasarkan pada pengamatan data – data sungai yang bersangkutan. Umumnya krib yang terlalu panjang akan berakibat kurang baik terhadap kestabilan

sungai. Menurut Sosrodarsono dan Masateru Tomiga (1994) berdasarkan hasil survey dan pengamatan pada krib – krib yang sudah dibangun, maka perbandingan antara panjang krib (l) dan lebar sungai (B) umumnya lebih kecil dari 10% dan yang melebihi 25% hanya pada beberapa sungai saja. Interval krib yang telah dibangun dan setelah dilakukan pengamatan yang sangat teliti di Sungai Tone, maka diperoleh hubungan antara interval dan panjang krib seperti yang tertera pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Hubungan Antara Panjang Dan Interval Krib

Lokasi pembuatan krib di sungai	Hubungan Antara interval (D) dan panjang (L)
Bagian Lurus	$D = (1,7-2,3) L$
Bagian Luar D	$D = (1,4 - 1,8)L$
Bagian Dalam	$D = (2,8 - 3,6) L$

Sumber: Sosrodarsono,2009

2.4.4.9 Kedalaman Gerusan

Kedalaman gerusan setempat akibat pemasangan krib perlu dikontrol, agar penurunan dasar sungai dapat dikendalikan. Gerusan lokal diujung (kaki) krib dapat diestimasi menggunakan berbagai rumus antara lain; *Farraday & Charlton* (1983) dan *Blench* (1969) sebagai berikut;

Kedalaman gerusan lokal metode Blench, 1969

Kedalaman gerusan lokal:

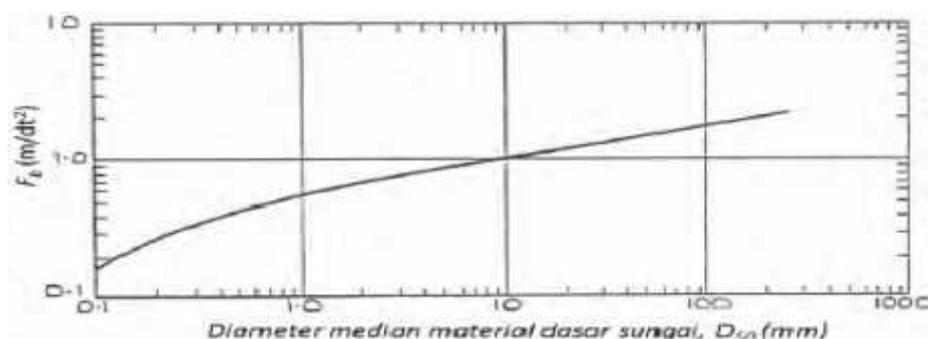
$$Y_2 = (q^2/F_b) 0,33 \dots\dots\dots (2.83)$$

Dimana:

Y_2 = Rata-rata kedalaman gerusan lokal diukur dari permukaan air (m)

q = Debit aliran sungai per satuan lebar sungai ($m^3/dt/m$)

F_b = "Blench Zero bed factor " (Grafik 2.8)



Gambar 2.10 Grafik *Blench Zero Bed Factor*

(Sumber : Catatan Joko Cahyono)

Kedalaman gerusan lokal metode Farraday & Charlton, (1983)

Dasar sungai didominasi pasir

$$Y_2 = 0,38 (V_1 y_1)^{0,67} D_{50}^{-0,17} \dots\dots\dots (2.84)$$

Dasar sungai didominasi kerikil

$$Y_2 = 0,47 (V_1 y_1)^{0,80} D_{90}^{-0,12} \dots\dots\dots (2.85)$$

Dasar sungai sedimen kohesif

$$Y_2 = 51,4 n^{0,86} (V_1 y_1)^{0,86} c^{-0,43} \dots\dots\dots (2.86)$$

Dimana:

Y_2 = Rata-rata kedalaman gerusan lokal diukur dari permukaan air (m)

(Harga dari perhitungan Y_2 masih harus dikalikan factor koreksi pada table)

y_1 = A_1 / T_1 = Desain kedalaman gerusan lokal (m)

T_1 = Desain lebar rata-rata permukaan aliran sungai (m)

A_1 = Desain luas penampang rata-rata aliran sungai (m²)

V_1 = Desain kecepatan aliran (m/dt)

D_{50} = Diameter butir material di dasar sungai (m), berat butiran sedimen 50% lolos saring

D_{90} = Diameter butir material di dasar sungai (m), berat butiran sedimen 90% lolos saring

T_c = gaya seret kritis mulai terjadi gerusan (N/m²)

Tabel 2.5 Gaya Seret Kritis Material Kohesif Dasar Sungai

Rasio Pori - Pori	2,0 – 1,2	1,2 – 0,6	0,6 – 0,3	0,3 – 0,2
Kepadatan kering (kg/m ³)	880 – 1,220	1,220 – 1,650	1,650 – 2,030	2,030 – 2,210
Kepadatan jenuh air (kg/m ³)	1,550 – 1,740	1,740 – 2,030	2,030 – 2,270	2,270 – 2,370
Tipe Tanah	Gaya Seret Kritis (N/m ²)			
Lempung pasir	1,9	7,5	15,7	30,2
Lempung berat	1,5	6,7	14,6	27,0
Lempung	1,2	5,9	13,5	25,4
Lempung halus	1,0	4,6	10,2	16,8

Sumber: Catatan Joko Cahyono

Tabel 2.6 Faktor Koreksi Total Kedalaman Gerusan Lokal

Koreksi	Faktor Pengali
Unjung (kaki) krib atau abutmen	2,00 – 2,57
Arah aliran tegak lurus tebing sungai	2,25
Arah aliran sejajar tebing sungai	1,50 – 2,00

Sumber: Catatan Joko Cahyono

2.4.4.10 Konstruksi Krib

- Krib tiang pancang: adalah contoh krib permeabel dan dapat digunakan baik untuk krib memanjang maupun krib melintang. Konstruksinya sangat sederhana dan dapat meningkatkan proses pengendapan serta sangat cocok untuk bagian sungai yang deras arusnya
- Krib rangka: adalah krib yang cocok untuk sungaisungai yang dasarnya terdiri dari lapisan batuatau krikil yang sulit dipancang dan krib rangka ini mempunyai kemampuan bertahan yang lebih besar terhadap arus sungai dibandingkan dengan krib tiang pancang.
- Krib blok beton: krib blok beton mempunyai kekuatan yang baik dan awet serta sangat fleksibel dan umumnya dibangun pada bagian sungai yang arusnya deras. Bentuk dan denah krib serta berat masing-masing blokbeton sangat bervariasi tergantung dari kondisitempat antara lain dimensi serta kemiringan sungaidan penetapannya didasarkan pada contoh-contoh yang sudah ada atau pengalaman-pengalaman pada krib-krib sejenis yang pernah dibangun.

2.4.4.11 Analisa Kestabilan Terhadap Guling

Pada bangunan sungai perlu dilakukan tinjauan kestabilan terhadap guling. Hal ini disebabkan adanya pengaruh gayatekanan hidrostatis akibat dari arus aliran sungai. Gaya hidrostatis lateral yang diakibatkan oleh aliran sungai yang menghantam krib, cenderung menggulingkan krib dengan pusat rotasi pada ujung kaki krib. Momen penggulingan ini dilawan oleh momen akibat berat sendiri krib. Faktor aman terhadap penggulingan (SF) didefinisikan sebagai:

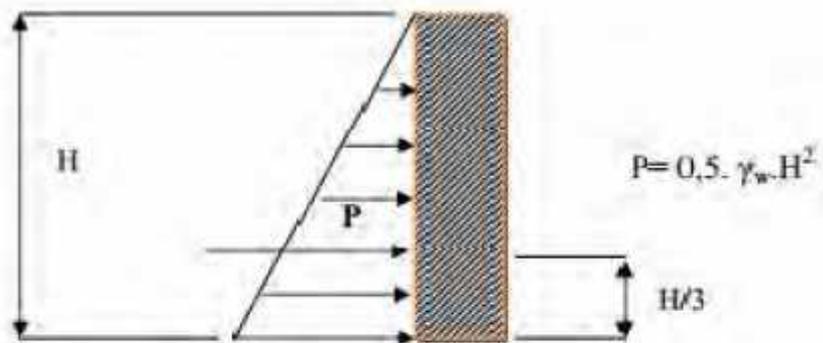
$$SF = \frac{\sum M_t}{\sum M_g} > 1,5 \quad \dots\dots\dots (2.87)$$

Dimana:

Mt = momen tahan terhadap guling (kNm)

Mg = momen total sesungguhnya yang menyebabkan guling (kNm)

Gaya tekan air atau gayahidrostatik adalah gaya horizontal akibat air dari hulu yang menabrak dinding krib. Tekanan hidrostatik adalah fungsi kedalaman dibawah permukaan air, dan bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan. Besarnya momen akibat tekanan hidrostatik adalah:



Gambar 2.11 Tekanan Pada Dinding Tegak

$$P_{air} = 0,5 \cdot H^2 \cdot \gamma_w \quad \dots\dots\dots (2.88)$$

Sehingga Moment akibat hidrostatik adalah :

$$M_{air} = P_{air} \times H/3 \quad \dots\dots\dots (2.89)$$

Dimana :

H = Kedalaman air (m)

γ_w = berat volume air (kN/m^3)

M air = Momen tekanan air (kN.m)

2.5 Syarat Jenis Bangunan Pengarah Aliran

Berdasarkan fungsi sebagai bangunan pengarah aliran untuk membelokkan aliran, atau sebagai pengarah untuk memperbaiki alinyemen sungai, maka dalam perencanaan harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- a. Persyaratan fungsional dengan bangunan pengarah aliran sebagai pelindung tebing sungai tidak langsung, atau sebagai pengarah arus.
- b. Persyaratan kesesuaian dengan perencanaan pengelolaan sungai terpadu dengan mempertimbangkan pengaruh negatifnya terhadap bangunan lain, terhadap sungai, dan terhadap lingkungan di sekitarnya.
- c. Persyaratan pemilihan jenis yang harus sesuai dengan tujuan pemasangan bangunan pengarah aliran, kondisi geoteknik, ketersediaan material di sekitar lokasi serta kondisi alur sungai.
- d. Persyaratan keamanan dan kestabilan terhadap beban oleh tekanan air dan muatan sedimen serta benda padat yang terangkut aliran serta kemungkinan adanya gerusan lokal dan degradasi dasar sungai.

- e. Sebagai pengarah untuk membelokkan aliran sungai agar sesuai dengan tujuannya yaitu:
 - 2) Bangunan pengarah untuk mengatur debit agar masuk ke percabangan sebagai suplesi, agar aliran masuk ke bangunan pengambilan.
 - 3) Bangunan pengarah untuk memperbaiki arah arus apabila di udik bangunan pengambilan (bendung, pompa air, pintu air) terjadi perubahan arah arus.
 - 4) Bangunan pengarah untuk memperbaiki pola dan arah aliran pada alur sungai tidak menentu misalnya pada sungai di dataran rendah.
- f. Persyaratan pelaksanaan untuk kelestarian bangunan perlu dilakukan pemantauan berkala tentang gejala yang dialami bangunan, begitu juga gejala yang ditimbulkan oleh bangunan terhadap AMDAL morfologi sungai.

2.6 Matriks pemilihan Bangunan pengarah aliran

Dalam perencanaan bangunan pengarah aliran, menurut Tamin, O.Z, (2009), harus dikembangkan pola partisipatif (bottom – up planning) dan memperhatikan keinginan semua pihak yang berkepentingan (stakeholders) maka salah satu pendekatan perencanaan yang memungkinkan diakomodasikannya sejumlah kepentingan dan sejumlah kriteria dalam proses pengambilan keputusan adalah Analisis Multi Kriteria (AMK).

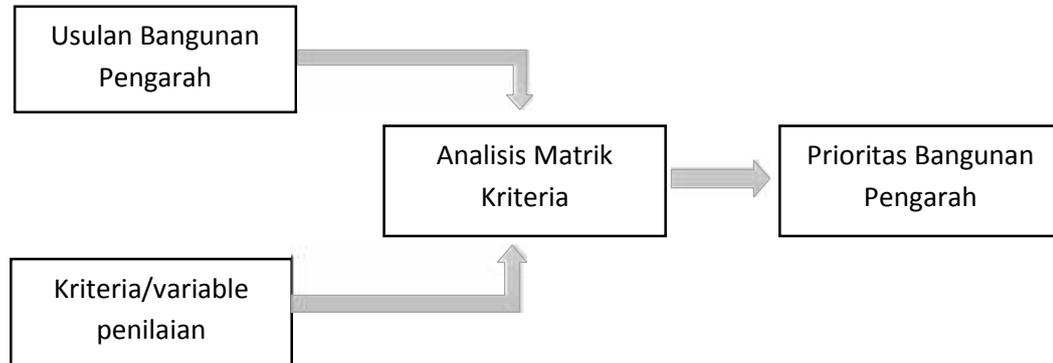
Selanjutnya Analisis Multi Kriteria (AMK) merupakan prosedur dalam melakukan perangkingan (prioritisasi) dengan mengkombinasikan berbagai kepentingan secara bersama-sama diantaranya kepentingan ekonomi, sosial, lingkungan dan pertimbangan lainnya.

Tahapan kegiatan pengambilan keputusan dalam AMK, secara singkat dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Indikasi Jumlah alternatif lokasi yang akan dipilih.
- b. Meninjau dominansi suatu pilihan terhadap pilihan lainnya, terjadi ketika kinerja suatu alternatif sama/lebih baik untuk semua kriteria terhadap alternatif lainnya.
- c. Melakukan pembobotan, dengan menggunakan Matrix Pair Wise Comparison.
- d. Skoring kinerja tiap alternatif dengan memberikan penilaian terukur terhadap variabel kriteria secara kualitatif ataupun kuantitatif.

- e. Mengalikan bobot setiap kriteria dengan skor kinerja alternatif pada kriteria tersebut.
- f. Menjumlahkan nilai setiap kriteria sehingga didapat nilai total suatu alternatif.
- g. Me-ranking nilai tersebut sehingga didapat prioritas alternatif.

Secara garis besar metodologi pendekatan studi ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2.12 Proses Pemilihan Alternatif Bangunan Pengarah Aliran Dengan Menggunakan AMK

Tingkat kepentingan tiap kriteria dalam studi ini diperoleh dari mencari persepsi dari berbagai syarat bangunan pengarah aliran. Syarat bangunan pengarah aliran yang diambil disini adalah pada level pengambil keputusan dari instansi – instansi terkait. Adapun proses pembobotan untuk mendapatkan bobot kepentingan setiap kriteria secara umum dilakukan dengan metodologi sebagai berikut:

1. Membuat matriks perbandingan berpasangan (pairwise comparison matrix) untuk setiap bobot kriteria dari syarat bangunan pengarah aliran yang ada.
2. Membuat Rata-rata bobot untuk seluruh bangunan pengarah aliran.

2.6.1 Analisis Multi Kriteria

Analisis Multi Kriteria adalah metode yang dikembangkan dan digunakan dalam masalah pengambilan keputusan dan dimaksudkan untuk bisa mengakomodasi aspek-aspek di luar kriteria ekonomi dan finansial serta juga bisa mengikut sertakan berbagai pihak yang terkait dengan suatu proyek secara komprehensif dan scientific (kuantitatif maupun kualitatif). Analisis ini menggunakan persepsi stakeholders terhadap kriteria-kriteria atau variabel-variabel yang dibandingkan dalam pengambilan keputusan. AMK memiliki sejumlah kelebihan jika dibandingkan dengan proses pengambilan keputusan

informal (*informal judgement*) yang saat ini umum digunakan. Keuntungan tersebut antara lain:

1. Proses pengambilan keputusan dilakukan secara terbuka bagi semua pihak berkepentingan,
2. Variabel dan kriteria analisis yang digunakan dapat lebih luas, baik yang kuantitatif maupun yang kualitatif,
3. Pemilihan variabel tujuan dan kriteria terbuka untuk dianalisis dan diubah jika dianggap tidak sesuai,
4. Nilai dan bobot ditentukan secara terbuka sesuai dengan persepsi pihak terkait yang dilibatkan.
5. Memberikan arti lebih terhadap proses komunikasi dalam pengambilan keputusan, diantara para penentu kebijakan, dan dalam hal tertentu dengan masyarakat luas.

Adapun konsep yang dikembangkan dalam analisis multi kriteria adalah sebagai berikut:

1. Analisis sudah mempertimbangkan semua variabel sekomprensif mungkin dengan tetap menjaga proses ilmiah dari proses pengambilan keputusan yang dilakukan.
2. Banyak faktor yang harus dipertimbangkan dan kepentingan pihak-pihak yang harus diakomodasi.
3. Penetapan pilihan dilakukan dengan memperhatikan sejumlah tujuan dengan mengembangkan sejumlah kriteria yang terukur.
4. Skoring adalah preferensi alternatif terhadap kriteria tertentu.
5. Pembobotan adalah penilaian relatif antar kriteria.

2.6.2 Membuat Matriks Perbandingan

Penilaian kinerja tiap kriteria adalah menentukan kinerja yang diharapkan dari tiap kriteria berdasarkan data yang ada. Untuk penilaian kriteria dilakukan dengan kuantitatif tidak langsung melalui perbandingan pasangan atau *pairwise comparison* berdasarkan input dari stakeholders. Input tersebut berupa jawaban terhadap serangkaian pertanyaan yang dalam bentuk umum dapat diekspresikan sebagai berikut : "Seberapa penting kriteria A relative terhadap kriteria B", kondisi ini menyatakan adanya perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Dalam hal ini penilaian dapat dilakukan dengan memberikan suatu skala penilaian yang menunjukkan seberapa besar tingkat kepentingan antara dua kriteria.

Perhitungan matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*) dilakukan dengan menggunakan program "Expert Choice", dimana input data berdasarkan responden wakil stakeholders dengan cara memberikan penilaian antar kriteria.

2.6.3 Penilaian Kinerja Tiap Kriteria

Adapun proses penilaian kinerja dilakukan dengan mekanisme sebagai berikut:

1. Tentukan nilai kuantitatif ataupun kualitatif dari setiap alternatif untuk setiap variabel kriteria yang digunakan.
2. Lakukan proses skoring setiap variabel alternatif sesuai skala penilaian yang digunakan.
3. Bentuk matriks kinerja (*performance matrix*) dari setiap alternatif untuk menentukan alternatif terbaik dan urutan selanjutnya.

Proses penilaian kinerja suatu usulan terhadap kriteria pengembangan jaringan jalan dilakukan dengan memberikan skor yang dilakukan oleh pakar (*expert judgement*) yang berkompeten. Dalam hal ini skor diberikan dengan skala antara 0 s/d 10, di mana angka 10 diberikan untuk alternatif atau usulan pengembangan yang mampu memenuhi syarat kriteria yang tertinggi, dan sebaliknya angka 0 diberikan untuk penilaian terendah (tidak ada kaitannya sama sekali dengan kriteria). Skor untuk alternatif lain (yang lebih rendah) dihitung sebagai proporsi terhadap variabel pada alternatif dengan variabel terbaik menggunakan formulasi berikut:

Untuk variabel terbaik adalah angka tertinggi:

$$\text{Skor kriteria X} = (\text{Nilai variabel X}) / (\text{Nilai variabel terbaik}) * 10$$

Untuk variabel terbaik adalah angka terendah:

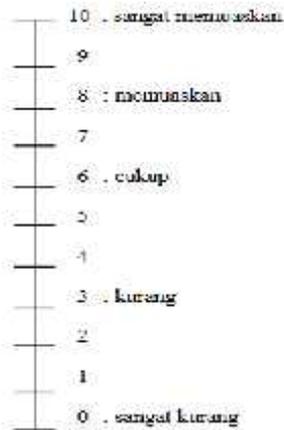
$$\text{Skor kriteria X} = (\text{Nilai variabel terbaik}) / (\text{Nilai variabel X}) * 10$$

Untuk variabel kualitatif proses skoring dilakukan dengan memberikan nilai yang besarnya mencerminkan kualitas pemenuhan kriteria.

Dalam menentukan nilai kuantitatif, kriteria penilaian di breakdown lagi menjadi satu atau beberapa sub-kriteria. Hal ini untuk mendapatkan tingkat analisis yang lebih detail, sehingga lebih mudah untuk dipahami.

Hasil pembobotan subkriteria seperti yang telah diuraikan, maka selanjutnya dibuat resume nilai kuantitatif dari masing-masing subkriteria. Skor berbagai kriteria yang sudah dihitung tersebut selanjutnya dikalikan dengan nilai bobot perkriteria dan dijumlahkan untuk semua kriteria. Kriteria

yang memiliki sub kriteria lebih dari satu nilainya di rata-ratakan terlebih dahulu. Selanjutnya kriteria dengan jumlah skor tertinggi direkomendasikan sebagai alternatif untuk dikembangkan. Dari hasil analisis multi kriteria ini, maka perolehan skor tertinggi merupakan alternatif yang terpilih dalam program penanganan bangunan pengarah aliran.



Gambar 2.13 Skala Penilaian Kinerja Usulan untuk Variabel Kualitatif