

# TEKNIK SUNGAI

WATI ASRININGSIH PRANOTO



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS TARUMANAGARA

# **Teknik Sungai**

Penulis:

**Dr. Ir. Wati Asriningsih Pranoto, MT**

Editor:

**Ir. Aniek Prihatiningsih, M.M.**

Desain Sampul & Tata Letak:

**Ir. Sunarjo**

Penerbit:

**Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanagara**

Redaksi:

**Gedung L, Lt.5**

**Jl. Let. Jen S. Parman No.1 Jakarta 11440**

**Telp: (021) 5672548**

**Email: sipil@ft.untar.ac.id**

Distributor tunggal:

**Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanagara**

**Jl. Let. Jen S. Parman No.1 Jakarta 11440**

**Telp: (021) 5672548**

**Email: sipil@ft.untar.ac.id**

Cetakan pertama:

**Desember 2016**

ISBN:

**978-602-73064-9-3**

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara

Apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

# TEKNIK SUNGAI

Dr. Ir. Wati Asriningsih Pranoto, MT



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**UNIVERSITAS TARUMANGARA**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sebesar-besarnya saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan penyertaanNya sepanjang waktu sehingga buku **Teknik Sungai** dapat di cetak pada tahun ini. Diktat Kuliah Teknik Sungai ini dapat terselesaikan berkat bantuan dari berbagai pihak, baik berupa bimbingan, dukungan secara moril dan matriil, kritik dan saran yang berhubungan dengan materi kuliah dan penelitian Karakteristik Sedimen Sungai di Jawa walaupun ada hambatan dalam pelaksanaan penulisan.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati, saya mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun sehingga buku "Teknik Sungai" dapat tercetak dengan hasil cukup baik.

Jakarta, Desember 2016

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
BAB 1 SUNGAI DAN TEKNIK SUNGAI .....	1
BAB 2 TIPE DAN SIFAT SIFAT SUNGAI .....	3
BAB 3 MORFOLOGI SUNGAI .....	7
BAB 4 HIDROLOGI SUNGAI .....	12
BAB 5 HIDROLIKA SUNGAI .....	18
BAB 6 EROSI DAN SEDIMENTASI .....	24
BAB 7 KONSTRUKSI BANGUNAN-BANGUNAN DI SUNGAI .....	31
BAB 8 SUDETAN .....	34
BAB 9 EKOHIDRAULIK .....	36
BAB 10 PENGANGGULANGAN BANJIR .....	40
Daftar Pustaka.....	50

# **BAB 1**

## **SUNGAI DAN TEKNIK SUNGAI**

Sungai merupakan badan air tawar yg mengalir di dalam sebuah alur alami dari tempat yg tinggi ketempat yg lebih rendah seperti laut, danau atau sungai yg lain. Dilain sisi, teknik Sungai merupakan ilmu yg mempelajari pengembangan dan pengelolaan sungai secara optimal lestari.

### **Kegunaan Teknik Sungai**

1. Menenal karakteristik/sifat2 sungai
2. Menerapkan eko-hidaulik dlm pengembangan dan pengelolaan sungai
3. Mengendalikan daya rusak air pada aliran sungai
4. Menyediaan air sungai utk berbagai keperluan
5. Memelihara fungsi sungai dibidang sosial, ekonomi, lingkungan, budaya, politik, hankam

### **Aspek2 Teknik Sungai**

1. Topografi dan Geomatika
2. Meteorologi dan Klimatologi
3. Hidrologi dan Hidrolika
4. Geologi dan Geoteknik
5. Mekanika dan Morfologi Sungai
6. Pengaturan dan Pengelolaan Sungai
7. Tata ruang dan Tata guna lahan
8. Ekologi dan Lingkungan Hidup

### **Sasaran Teknik Sungai**

1. Mengatur alur sungai
2. Mengatur debit sungai
3. Mengatur muka air sungai

### **Tipe Sungai**

1. Bulu ayam (Chicken feather)
2. Sejajar (Parallel)
3. Kipas (Fan)

### **Kerapatan Sungai (Neumann)**

• Kerapatan sungai adalah rasio dari jumlah panjang seluruh sungai dengan luas daerah aliran sungai

• Rumus **Neumann** :

$$N = \Sigma L / F$$

Dimana ;

N : Kerapatan sungai

$\Sigma L$  : Total panjang sungai induk dan anak-anaksungai

F : Luas daerah aliran Sungai

### **Indikasi Kerapatan Sungai**

1. Tanah dg lapisan permeabel : N kecil
2. Tanah dg lapisan impermeabel : N besar
3. DAS gersang  $N <$  DAS hutan
4. Daerah bergunung  $N <$  Daerah datar
5. Daerah sedikit hujan  $N <$  Daerah banyak hujan

## **BAB 2**

### **TIPE DAN SIFAT-SIFAT SUNGAI**

#### **Karakteristik/Sifat Sungai**

1. Alur sungai terbentuk secara alamiah
2. Aliran air menggerus tanah terusmenerus
3. Hasil gerusan terangkat ke hilir terus ke laut
4. Di daerah pegunungan kemiringan terjal, aliran dgn kecepatan tinggi
5. Makin ke hilir kecepatan aliran makin lambat dan mencapai nol di laut
6. Terjadi proses erosi dan sedimentasi yg membentuk :
  - Lembah dan dataran banjir
  - Kipas aluvial
  - Delta

#### **Klasifikasi Sungai**

1. Berdasarkan topografi DAS :
  - 1.1. Sungai di pegunungan
    - Sungai kikisan (incised river)
    - Sungai berbatu (bolder river)
  - 1.2. Sungai di dataran banjir
    - Sungai aluvial
    - Sungai teragradasi
    - Sungai terdegradasi
    - Sungai stabil
2. Berdasarkan tahap (stage)
  - 2.1. Sungai berdelta
  - 2.2. Sungai pasang surut
3. Berdasarkan bentuk di dataran
  - 3.1. Sungai lurus (straight)
  - 3.2. Sungai berkelok-kelok (meandering)
  - 3.3. Sungai berpulau-pulau (braided)

#### 4. Berdasarkan hidrograf banjir

4.1. Sungai berbanjir bandang (flushy)

4.2. Sungai normal

#### 5. Berdasarkan usia

5.1. Sungai perawan (virgin)

5.2. Sungai muda (young)

5.3. Sungai tua (mature)

#### 6. Berdasarkan jumlah air

6.1. sungai permanen - yaitu sungai yang debit airnya sepanjang tahun relatif tetap. Contoh sungai jenis ini adalah sungai Kapuas, Kahayan, Barito dan Mahakam di Kalimantan. Sungai Musi, Batanghari dan Indragiri di Sumatera.

6.2. sungai periodik - yaitu sungai yang pada waktu musim hujan airnya banyak, sedangkan pada musim kemarau airnya kecil. Contoh sungai jenis ini banyak terdapat di pulau Jawa misalnya sungai Bengawan Solo, dan sungai Opak di Jawa Tengah. Sungai Progo dan sungai Code di Daerah Istimewa Yogyakarta serta sungai Brantas di Jawa Timur.

6.3. sungai intermittent yaitu sungai yang pada musim kemarau airnya kering dan pada musim hujan airnya banyak. Contoh sungai jenis ini adalah sungai Kalada di pulau Sumba.

6.4. sungai ephemeral - yaitu sungai yang ada airnya hanya pada saat musim hujan. pada musim hujan sungai jenis ini airnya belum tentu banyak.

#### **Perilaku Sungai (Behaviour)**

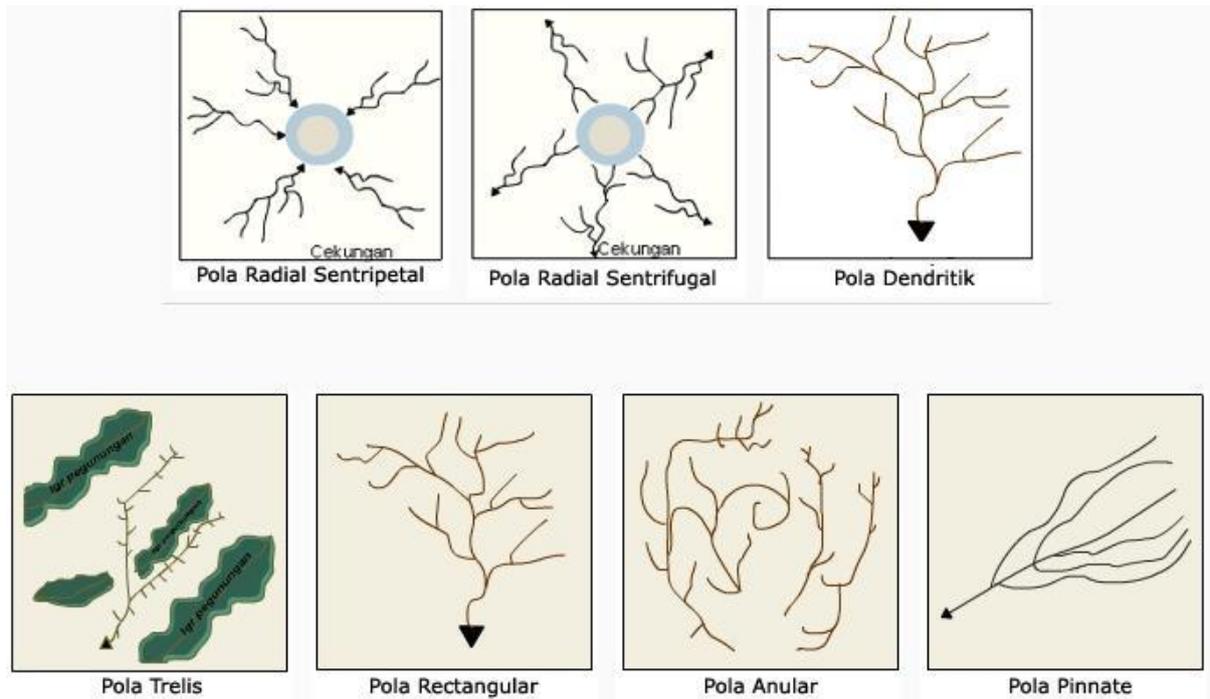
1. Pada sungai dgn alur lurus terjadi arus menyilang dari tepi ke tengah

2. Pada sungai dgn belokan terjadi arus berputar dari tepi cembung ke tepi cekung, menimbulkan gerusan di tepi cekung dan endapan di tepi cembung.

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

1. Pola trellis dimana memperlihatkan letak anak-anak sungai yang paralel menurut strike atau topografi yang paralel. Anak-anak sungai bermuara pada sungai induk secara tegak lurus. Pola pengaliran trellis mencirikan daerah pegunungan lipatan (folded mountains). Induk sungai mengalir sejajar dengan strike, mengalir di atas struktur synclinal, sedangkan anak-anak sungainya mengalir sesuai deep dari sayap-sayap synclinal dan anticlinal-nya. Jadi, anak-anak sungai juga bermuara tegak lurus terhadap induk sungainya.
2. Pola Rektanguler, dicirikan oleh induk sungainya memiliki kelokan-kelokan  $\pm 90^\circ$ , arah anak-anak sungai (tributary) terhadap sungai induknya berpotongan tegak lurus. Biasanya ditemukan di daerah pegunungan patahan (block mountains). Pola seperti ini menunjukkan adanya pengaruh joint atau bidang-bidang dan/atau retakan patahan escarp-escarp atau graben-graben yang saling berpotongan.
3. Pola Denritik, yaitu pola sungai dimana anak-anak sungainya (tributaries) cenderung sejajar dengan induk sungainya. Anak-anak sungainya bermuara pada induk sungai dengan sudut lancip. Model pola denritis seperti pohon dengan tatanan dahan dan ranting sebagai cabang-cabang dan anak-anak sungainya. Pola ini biasanya terdapat pada daerah berstruktur plain, atau pada daerah batuan yang sejenis (seragam, homogen) dengan penyebaran yang luas.
4. Pola Radial Sentripugal, Pola pengaliran beberapa sungai di mana daerah hulu sungai-sungai itu saling berdekatan seakan terpusat pada satu "titik" tetapi muaranya menyebar, masing-masing ke segala arah. Pola pengaliran radial terdapat di daerah gunungapi atau topografi bentuk kubah seperti pegunungan dome yang berstadia muda, hulu sungai-sungai berada di bagian puncak, tetapi muaranya masing-masing menyebar ke arah yang lain, ke segala arah.
5. Pola Radial Sentripetal, Kebalikan dari pola radial yang menyebar dari satu pusat, pola sentripetal ini justru memusat dari banyak arah. Pola ini terdapat pada satu cekungan (basin), dan biasanya bermuara pada satu danau. Di daerah beriklim kering dimana air danau tidak mempunyai saluran pelepasan ke laut karena penguapan sangat tinggi, biasanya memiliki kadar garam yang tinggi sehingga terasa asin.
6. Pola Paralel, adalah pola pengaliran yang sejajar. Pola pengaliran semacam ini menunjukkan lereng yang curam. Beberapa wilayah di pantai barat Sumatera memperlihatkan pola pengaliran paralel
7. Pola Annular, Pola pengaliran cenderung melingkar seperti gelang; tetapi bukan meander. Terdapat pada daerah berstruktur dome (kubah) yang topografinya telah berada pada stadium

dewasa. Daerah dome yang semula (pada stadium remaja) tertutup oleh lapisan-lapisan batuan endapan yang berselang-seling antara lapisan batuan keras dengan lapisan batuan lembut.



## **BAB 3**

### **MORFOLOGI SUNGAI**

Menurut topografinya sebuah sungai dapat dibagi menjadi tiga bagian :

- Bagin hulu (*Upper Reaches*)
- Bagin tengah (*Middle Reaches*)
- Bagin hilir (*Lower Reaches*)

Penjelasan :

- Sungai di bagian hulu mengalir pada kawasan yg berbukit-bukit dengan lereng-lereng yg curam, mempunyai sifat kemiringan yg terjal, arus yang cepat, banyak mengalami longsor tanah dan membentuk jeram-jeram pada alirannya.
- Sungai di bagian tengah pada kawasan dengan lereng yg landai mempunyai sifat kemiringan yg kurang terjal dan arus yg kurang cepat.
- Sungai di bagian hilir pada kawasan dataran aluvial (*alluvial plain*) mempunyai sifat kemiringan yg sangat landai dengan arus yg lambat.

Sungai di bagian hilir dapat dibagi menjadi tiga jenis :

- Jenis sungai yg berkelok-kelok (*meandering*)
- Jenis sungai yg mengalami aggradasi (*aggrading*)
- Jenis sungai yg mengalami degradasi (*degrading*)

Ketiga jenis sungai ini dapat ditemukan pada satu sungai dari titik dataran aluvial yg paling hulu sampai ke muara. Sebagian dari batang sungai ini dapat juga bersifat mendangkal, mendalam ataupun berkelok-kelok pada waktu yang berbeda-beda tergantung pada ragam kandungan sedimen dan besarnya aliran sungai. Diantara tiga jenis sungai yang disebutkan di atas, jenis berkelok-kelok merupakan tahap penuh dan akhir dari perkembangan suatu sungai, sedangkan dua lainnya merupakan tahap antara.

#### **1.1. Sungai Berkelok-kelok (Meandering)**

Sungai berkelok-kelok (*meandering*) pada suatu dataran aluvial mempunyai serangkaian tikungan dengan urutan berbalikan yg dihubungkan dengan bagian lurus pendek yg disebut **Pelintas** (*crossing*).

Bagian-bagian pada meander antara lain :

- **Lebar sabuk meander** (*Width of meandering belt*)

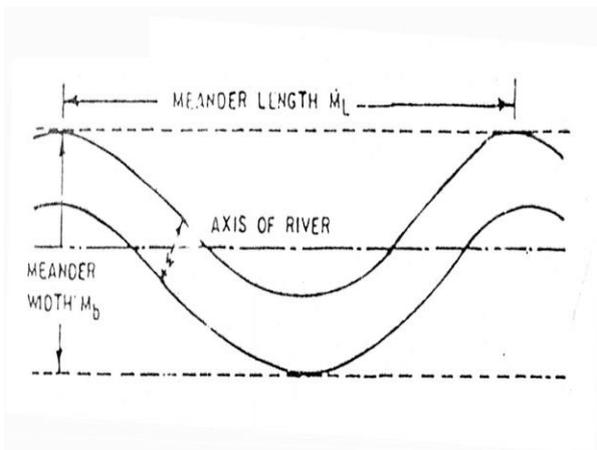
**M<sub>b</sub>** adalah jarak lintas melintang antara titik puncak dari satu tikungan dengan titik puncak pada tikungan sebalik yg berikutnya.

- **Panjang meander M<sub>L</sub>**.

Adalah jarak lintas memanjang sungai antara titik tangen dari satu tikungan dengan titik tangen pada tikungan urutan berikutnya.

- **Derajat sinusitas.** Adalah rasio antara panjang lengkung tikungan dan jarak lintas udara tikungan tersebut.

Berikut gambar-gambar dari meander:



Penyebab meandering :

*Meandering* disebabkan terjadinya eksese muatan sedimen waktu banjir, ketika terjadi eksese aliran turbulen. Percobaan menunjukkan bahwa ketika muatan sedimen melebihi jumlah yg diperlukan untuk stabilitas, sungai cenderung membentuk kemiringan yang lebih besar dengan pengendapan sedimen didasarnya. Bertambahnya kemiringan ini menyebabkan

melebarnya alur sungai jika tebing sungai tidak kuat menahan kikisan. Dengan kenaikan aliran menyilang sedikit saja, akan terjadi aliran lebih besar di satu tebing daripada di tebing yg lain. Naiknya aliran kemudian akan lebih tertarik kearah tebing tersebut, yg menyebabkan mengecilnya aliran di tebing yg lain, kemudian membentuk aliran melengkung dan akhirnya menghasilkan meander pada alur sungai .

Selain itu meandering dapat juga disebabkan oleh erosi tebing setempat yang mengakibatkan pengendapan di sungai dengan muatan sedimen yang berlebihan dan bergerak sepanjang tebing.

Dalam proses terjadinya sebuah meandering pada sungai, ada beberapa faktor yang mempengaruhinya, antara lain:

- Debit (*Discharge*) : Ini menyangkut variasi musiman aliran sungai yang digambarkan oleh *hydrograph* rata rata. Ada hubungan yang erat antara besarnya debit dengan besarnya pergerakan muatan dasar, dan karena itu mempengaruhi meandering.
- Tahanan dasar dan tebing (*Bed and side resistance*) : Tahanan batas palung sungai ditunjukkan oleh sifat material yg membentuk aluvium, lebih-lebih pada ketahanannya terhadap erosi. Ukuran butiran (*grain size*), berat jenis (*specific gravity*), kohesi (*cohesion*) dan kekasaran (*roughness*) adalah faktor-faktor penting. Ukuran butiran meliputi batu-batu besar dan kecil di hulu sungai sampai pasir dan lumpur di hilirnya. Sungai dengan dasar bebatuan besar dan kecil tidak menunjukkan pola meandering, karena sungai cenderung membentuk alur yg berbelok-belok diantara bebatuan tersebut (*interlaced channel*).

Ciri-ciri umum kelokan telah diperoleh dari berbagai percobaan yg telah dilakukan pada sungai berkelok. Beberapa halnya akan dibahas di bawah ini :

- Meander yang telah berkembang penuh dengan material lembah homogen dengan debit tetap memiliki pola definitif mengenai lengkung, panjang, lebar dan kedalaman alur sungai yang dapat diperagakan pada model.
- Lebar dan panjang meander serta lebar sungai secara kasar berbeda menurut akar kwadrat dari debit sungai.
- Pola meander berubah dengan perbedaan dalam debit, kemiringan atau material tebing dan dasar sungai.
- Penambahan pada debit atau kemiringan menambah aspek-aspek meandering seperti ukuran lengkung, panjang, lebar dan derajat sinusitasnya.

– Penambahan muatan sedimen menambah kemiringan serta lebar sungai, sedang kedalaman sungai berkurang.

Dapat disimpulkan bahwa setiap fase meandering tergantung pada tiga faktor yang erat berkaitan sebagai berikut :

- Sifat debit dan hidrolis dari alur sungai
- Muatan sedimen
- Erodibilitas relatif pada dasar dan tebing sungai

Secara umum dapat dikatakan bahwa apabila sungai mempunyai kapasitas cukup untuk membawa sedimen masuk untuk dialirkan ke hilir dengan membentuk endapan besar, seluruhnya atau sebagian dari sungai itu akan berupa meander.

**Hubungan Besaran-besaran Meander (Ml, Mb, W dan Q)**

Ml, Mb atau W (meter)	Sungai di dataran banjir	Sungai kikisan
Ml	$6.06W$	$11.45 W$
Mb	$17.4W$	$27.30 W$
Mb	$2.86 Ml$	$2.2 Ml$
Ml	$53.25\sqrt{Q}$	$46 \sqrt{Q}$
Mb	$153.75\sqrt{Q}$	$102.25 \sqrt{Q}$
W	$8.87\sqrt{Q}$	$4.54 \sqrt{Q}$

Keterangan:

- Sungai kikisan : Sungai yg mengalir dengan potongan melintang di bawah permukaan tanah alami
- Ml : panjang meander dalam m
- Mb : lebar sabuk meander dalam m
- W : lebar sungai dalam m
- Q : debit sungai dalam m<sup>3</sup>/detik

**1.2. Agradasi**

Sungai yg mengalami agradasi membentuk dasar sungai menurut suatu kemiringan tertentu. Ini dapat disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut :

- Sedimen berlebih masuk ke sungai dengan kemiringan yg berubah tiba-tiba pada suatu dataran

- Sedimen berlebih masuk ke sungai dengan kemiringan yg lebih mendatar karena beberapa rintangan seperti bendung gerak atau bendungan yang melintang sungai.
- Perluasan delta pada muara sungai
- Aliran sedimen tiba-tiba dari anak sungai.
- Sungai yg mengalami aggradasi atau suatu bagiannya biasanya memiliki bentang yg lurus atau lebar dengan beting (*shoal*) pada bagian tengahnya.

### **1.3.DEGRADASI**

Sungai yang mengalami degradasi adalah yg sedang dalam proses terkelupasnya dasar sungai secara bertahap menjadi muatan sedimen dalam aliran. Sebab terjadinya degradasi sungai adalah karena perubahan tiba-tiba pada muatan sedimen karena adanya endapan pada dasar sungai di sebelah hulu pintu gerak atau bendung. Air yang terjun ke hilir bendung menggerus dasar sungai dan mengisi lagi muatan sedimen. Dengan alasan yg sama, sungai yg berkelok-kelok (*meandering*) berubah sementara menjadi sungai yg mengalami degradasi ketika kelokan meander terpotong oleh alur sungai yang lurus.

## **BAB 4**

### **HIDROLOGI SUNGAI**

#### **Analisis Frekuensi**

1. Tujuan, penggunaan dan data yang diperlukan
2. Variabel dan variat
3. Distribusi dan probabilitas
4. Frekuensi dan interval kelas
5. Parameter statistik
6. Tendensi sentral
7. Dispersi
8. Konsep probabilitas dalam hidrologi

#### **1. Tujuan, penggunaan dan data yg diperlukan**

- Tujuan : mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dgn menggunakan distribusi probabilitas
- Penggunaan : untuk data debit sungai dan data hujan
- Diperlukan : data debit / hujan maksimum tahunan (data terbesar yg terjadi selama setahun, diukur selama beberapa tahun)

#### **2. Variabel dan variat**

- Variabel hidrologi : ukuran dari fenomena hidrologi spt debit  $Q$ , kedalaman hujan pdsb.
- Variat (*variate*) : nilai numerik dari variabel, mis  $Q=100 \text{ m}^3/\text{det}$ ,  $p=90 \text{ mm/hari}$
- Rangkaian variat : deret berkala (*time series*) dari sampel populasi debit2 puncak yg tercatat dimasa lalu dan yad dilokasi

#### **3. Distribusi dan Probabilitas**

- Distribusi (*distribution*) : data yg disusun menurut besarnya, dari yg terbesar sampai yg terkecil atau sebaliknya
- Distribusi probabilitas (*probability distribution*) : jumlah kejadian dari variat diskret (punya ciri tersendiri) dibagi dgn jumlah kejadian data. Jumlah total probabilitas dari seluruh variat = 1.
- Probabilitas kumulatif (*cumulative probability*) : jumlah peluang dari variat acak yg punya nilai sama atau kurang (sama atau lebih ) dari suatu nilai tertentu.

#### 4. Frekuensi dan Interval Kelas

- Frekuensi (*frequency*): jumlah kejadian sebuah variat dari variabel diskret
- Interval kelas (*class interval*) : ukuran pembagian kelas dari suatu variabel
- Distribusi frekuensi (*frequency distribution*): suatu distribusi atau tabel frekuensi yg mengelompokkan data yg belum terkelompok menjadi data kelompok.

#### 5. Parameter Statistik

- Parameter : sembarang nilai ukuran numerik yang menjelaskan ciri susunan data
- Parameter statistik : Parameter yg digunakan dalam analisis susunan data dari suatu variabel (seperti nilai rata-rata, deviasi dsb). Pengukuran parameter statistik yg sering digunakan dalam analisis adalah tendensi sentral (*central tendency*) dan dispersi (*dispersion*).

#### 6. Tendensi Sentral

Nilai rata2 (mean) : nilai yang cukup representatif untuk mengukur suatu distribusi.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Dimana:

$\bar{x}$ = rata-rata

$x_i$ = variabel random

$n$ = jumlah data

#### 7. Dispersi

- Tidak semua variat dari variabel hidrologi sama dgn nilai rata2, ada yg > atau <
- Varian (*variance*) atau penyebaran (dispersi,*dispersion*) : besarnya derajat sebaran variat disekitar nilai rata2nya
- Penyebaran data dpt diukur dengan deviasi standar (*standard deviation*) dan varian.

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

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

$$c_v = \frac{s}{\bar{x}}$$

Dimana :

S<sup>2</sup> = varian

S = deviasi standar

Cv = koefisien varian

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$C_s = \frac{a}{s^3}$$

$$C_s = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4$$

Dimana:

A= kemencengan

Cs= koefisien asimetri

Ck=koefisien kurtosis

## 8. Konsep Probailitas Dalam Hidrologi

- Penting : menafsirkan probabilitas suatu kejadian yad berdasar data hidrologi dari pencatatan yg telah lampau
- Probabilitas ( $p$ ) dari variat adalah sejumlah kejadian dari variat diskret dibagi dengan jumlah total kejadian
- Probabilitas total dari variat adalah 1
- Distribusi probabilitas adalah distribusi dari probabilitas semua variat
- Probabilitas kumulatif dari variat adalah probabilitas bahwa variabel sembarang yg bernilai  $\leq$  suatu nilai tertentu, misalnya  $x$ , dpt dinyatakan dgn  $p(X \leq x)$ , dgn  $X$  adalah variabelnya.
- Jadi probabilitas bahwa nilai variabel tsb  $\geq x$  adalah  $1-p(X \leq x)$  atau dinyatakan dgn  $p(X \geq x)$

### Seri data hidrologi

- Data debit sungai atau hujan utk analisis frekuensi dipilih dari seri data lengkap hasil observasi selama beberapa tahun
- Utk data debit harian/hujan harian, dlm setahun terdapat 365 data
- *Partial duration series (POT- peaks over treshold)*: jika jumlah data debit/hujan runtut waktu  $< 10$  tahun
- *Annual maximum series* : jika data debit/hujan runtut waktu tersedia minimal 10 tahun

## Periode Ulang

- Periode ulang (*return period*) : waktu hipotetis dimana debit atau hujan dgn besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut
- Mis  $T = 50$  tahun, artinya debit/hujan tsb diperkirakan disamai atau dilampaui rata2 satu kali dalam 50 tahun
- Tidak berarti bahwa debit/hujan tsb hanya akan terjadi sekali dlm 50 tahun yg berurutan, melainkan diperkirakan bahwa debit/hujan tsb jika dilampaui  $k$  kali dlm periode panjang  $M$  tahun akan mempunyai nilai  $k/M$  yg kira2 sama dgn  $1/50$

## Tingkat resiko

- Pers 1 : Probabilitas bahwa suatu besaran debit/hujan akan disamai atau dilampaui dalam satu tahun
- Pers 2 : Utk  $T=20$  th
- Pers 3 : Probabilitas tidak terjadi dgn periode ulang  $T$  th
- Pers 4 : Probabilitas tidak terjadi dgn periode ulang  $T$  th dlm  $n$  th yg berurutan
- Pers 5 : Risiko atau probabilitas bhw debit  $Q$  akan terjadi paling tidak sekali dlm  $n$  tahun yg berurutan

$$P(Q \geq Q_T) = \frac{1}{T}$$

$$P(Q \geq Q_{20}) = \frac{1}{20} = 5\%$$

$$F(Q \geq Q_T) = 1 - \frac{1}{T}$$

$$F(Q \geq Q_T)^n = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

$$R = 1 - F(Q)^n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

## Distribusi Probabilitas Kontinyu

### 1. Distribusi Normal

Disebut juga Distribusi Gauss. Simetris thd sumbu vertikal. Didlm praktek dipakai Tabel Probabilitas kumulatif distribusinormal standar  $z$

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-x^2/2} dx$$

$$z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

$$F(z) = 1 - P(z)$$

$$P(z) = \frac{1}{T}$$

## 2. Distribusi Lognormal

Dipakai jika nilai variabel random tidak mengikut distribusi normal, tetapi nilai Lognya memenuhi.

- Rumus2 adalah sbb :
- PDF (fungsi densitas probabilitas) diperoleh dgn transformasi :  $y = \ln x$  atau  $y = \log x$
- CDF (fungsi densitas kumulatif) diturunkan dgn integrasi fungsi densitas probabilitas
- Dlm praktek dipakai Tabel yg sama dgn distribusi normal

$$p(X) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-(y-\mu_y)^2 / (2\sigma_y^2)}$$

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \int_{-\infty}^y e^{-(y-\mu_y)^2 / (2\sigma_y^2)} dy$$

## 3. Distribusi Gumbel

- Banyak digunakan utk analisis data maksimum, misalnya banjir
- Fungsi densitas kumulatif  $F(x)$

$$F(x) = e^{-e^{-y}}$$

$$y = \frac{x - u}{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6s}}{\pi}$$

$$u = \bar{x} - 0,5772 \alpha$$

Dimana:

F(x) = fungsi densitas kumulatif

Y = faktor reduksi gumbel

U = modulus distribusi (titik dari densitas probabilitas maksimum)

S = deviasi standar

Pada distribusi Gumbel

$$Cv = 1,1396 \quad Ck = 5,4002$$

$$y = -\ln \left[ \ln \left( \frac{1}{F(x)} \right) \right]$$

$$\frac{1}{T} = P(x \geq x_T) = 1 - P(x \leq x_T)$$

$$= 1 - F(x_T)$$

$$F(x_T) = \frac{T-1}{T}$$

#### 4. Distribusi Log Person III

$$y_T = -\ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]$$

$$x_T = u + \alpha y_T$$

## BAB 5

### HIDROLIKA SUNGAI

#### Tipe Aliran

- Aliran saluran terbuka dapat di golong kan dalam banyak tipe
- Penggolongan tipe dapat dilakukan berdasar bermacam-macam kriteria
- Salah satu kriteria utama : perubahan kedalaman aliran (h) terhadap waktu (t) dan terhadap tempat (s)

#### Kriteria tempat

- Aliran seragam (*uniform flow*) :kedalaman dan kecepatan aliran tidak berubah menurut tempat
- Aliran tidak seragam (*non uniform flow*) : kedalaman dan kecepatan aliran berubah menurut tempat

#### Aliran Seragam

$$\frac{\partial h}{\partial s} = 0 \quad \frac{\partial u}{\partial s} = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial s} \neq 0 \quad \frac{\partial u}{\partial s} \neq 0$$

- Dapat berubah dan tidak berubah menurut waktu
- Dibedakan :
  1. Aliran seragam tetap (*steady uniform flow*) = Aliran beraturan
  2. Aliran seragam tidak tetap (*unsteady uniform flow*) .Dalam kenyataan hampir tidak pernah terjadi

#### Aliran tidak seragam

- Aliran tidak seragam disebut juga aliran berubah-ubah (*varied flow*)
- Dibedakan :

1. Aliran berubah lambat laun (gradually varied flow)
2. Aliran berubah dgn cepat (rapidly varied flow)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial s} = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} \neq 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial s} = 0$$

### **Ikhtisar**

#### A. Aliran tetap :

1. Aliran tetap seragam
2. Aliran tetap tidak seragam
  - a. Aliran tetap tidak seragam berubah lambat laun
  - b. Aliran tetap tidak seragam berubah dgn cepat

#### B. Aliran tidak tetap :

1. Aliran tidak tetap seragam – hampir tidak pernah terjadi
2. Aliran tidak tetap tidak seragam atau aliran tidak tetap dan berubah-ubah :
  - a. Aliran tidak tetap berubah lambat laun
  - b. Aliran tidak tetap berubah dgn cepat

### **Sifat-sifat aliran**

• Sifat aliran saluran terbuka dipengaruhi :

1. Kekentalan
2. Gravitasi
3. Inersia/kelembaman
4. Tegangan permukaan

### **Gaya kekentalan dan gaya kelembaman**

• **Aliran laminar** : gaya kekentalan >> gaya kelebaman

1. Aliran dikuasai gaya kekentalan
2. Partikel cairan bergerak teratur dan berlapislapis

• **Aliran turbulen** : gaya kelebaman >> gaya kekentalan

1. Aliran dikuasai gaya kelebaman
2. Partikel cairan bergerak tidak teratur dan sembarang

**Angka Reynold**

• Perubahan dari laminar ke turbulen terjadi pada suatu harga yg disebut

**Angka Reynold :**

$$R_e = \frac{\bar{u}L}{\theta}$$

Re < 500	aliran laminar
500 < Re < 12.500	aliran transisi
Re > 12.500	aliran turbulen

Dimana:

Re : angka Reynold (tidak berdimensi)

$\bar{u}$  : kecepatan rata2 aliran (m/det)

L : panjang karakteristik=jari2 hidrolis R (m)

$\theta$  : viskositas kinematik cairan (m2/det)

Didalam praktek aliran saluran terbuka pada umumnya adalah aliran turbulen

## Gaya kelembaman dan gaya gravitasi

• Tipe aliran :

1. Subkritis
2. Kritis
3. Superkritis

• Dibedakan dari **Angka Froude** (perbandingan antara gaya kelembaman dan gaya gravitasi)

## Angka Froude

Rumus :

$$F_g = \frac{\bar{u}}{\sqrt{gL}}$$

- $F_g$  : angka Froude (tidak berdimensi)
- $\bar{u}$  : kecepatan rata-rata aliran (m)
- $L$  : panjang karakteristik (m)= kedalaman hidrolis  $D=A/T$
- $A$  : luas penampang basah (m<sup>2</sup>)
- $T$  : lebar permukaan bebas (m)
- $g$  : gaya gravitasi (m/det<sup>2</sup>)
  
- $F_g=1$  : aliran kritis (gaya kelembaman dan gaya gravitasi seimbang)
- $F_g<1$  : aliran subkritis (gaya gravitasi dominan)
- $F_g>1$  : aliran superkritis (gaya kelembaman dominan)

## Regime aliran

• Ada 4 regime aliran dlm saluran terbuka :

1. Laminer subkritis / *subcritical laminar* ( $F_g<1$ ;  $Re$  di daerah laminer)
2. Laminer superkritis / *supercritical laminar* ( $F_g>1$ ;  $Re$  di daerah laminer)
3. Turbulen superkritis / *supercritical turbulent* ( $F_g>1$ ;  $Re$  di daerah turbulen)
4. Turbulen subkritis / *subcritical turbulent* ( $F_g<1$ ;  $Re$  di daerah turbulen)

## Perhitungan kecepatan aliran seragam

- Banyak dipakai dalam perhitungan aliran saluran terbuka
- Rumus umum kecepatan

$$\bar{u} = CR^x i_f^y$$

aliran seragam :

$\bar{u}$  : kecepatan rata2 aliran

R : jari2 hidrolik

$i_f$  : kemiringan garis energi

C : koefisien tahanan

x dan y : eksponen

- Ada 3 rumus : Chezy,  
Manning dan Strickler

### Persamaan Chezy

$$Q = CA(Ri_f)^{0,5}$$

$$\bar{u} = C(Ri_f)^{0.5}$$

- Rumus :

Q atau  $\bar{u}$

Q : debit aliran (m3/det)

A : luas penampang basah m2)

u : kecepatan rata2 penampang aliran (m/det)

C : koefisien Chezy (m0.5/det)

R : jari2 hidrolik (m)

$i_f$  : kemiringan garis energi (energy gradient)

### Persamaan Manning

$$\bar{u} = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} (Ri_f)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} (i_f)^{\frac{1}{2}}$$

• Rumus **Manning** :

- $\bar{u}$  : kecepatan rata2 penampang (m/det)
- R : jari2 hidrolis (m)
- $i_f$  : kemiringan garis energi
- n : koefisien kekasaran

**Persamaan Strickler**

• Rumus **Strickler** :

$$\bar{u} = kR^{\frac{2}{3}} (i_f)^{\frac{1}{2}}$$

- $\bar{u}$  : kecepatan rata2 penampang (m/det)
- R : jari2 hidrolis (m)
- $i_f$  : kemiringan garis energi
- k : angka kekasaran Strickler

## **BAB 6**

### **EROSI DAN SEDIMENTASI**

#### **Erosi**

Erosi : proses terlepasnya butiran tanah dari induknya di suatu tempat

Pengangkutan : terangkutnya material tersebut oleh gerakan air atau angin

Sedimentasi : Proses pengendapan yg dihasilkan oleh proses erosi yg terbawa oleh suatu aliran air atau angin pada suatu tempat yg kecepatannya lambat atau berhenti

Erosi dapat dibedakan menjadi beberapa kategori antara lain:

1. Menurut proses :

- Erosi Normal/ Erosi Geologi/Erosi Alami
- Erosi dipercepat akibat perbuatan manusia

2. Menurut bentuk nya :

- Erosi Lembar

Erosi lembar merupakan perpindahan permukaan tanah oleh air yang mengalir atau oleh angin dalam suatu lapisan atau lembar kurang lebih seragam dari suatu bidang lahan. Bentuk erosi ini lebih banyak terjadi di lahan-lahan berombak tanpa tanaman penutup. Erosi ini juga sering disebut erosi antarlur (inter-rill erosion), yang mencakup perpindahan lapisan suatu tanah dari suatu segmen lahan miring.

- Erosi Alur

Erosi alur terjadi karena air terkonsentrasi dan mengalir pada tempat-tempat tertentu di permukaan tanah sehingga perpindahan tanah lebih banyak terjadi di tempat tersebut. Erosi alur sering dijumpai pada tanah-tanah yang ditanami secara berbaris menurut lereng atau bekas menarik balok-balok kayu dengan kondisi tanah gembur.

3. Erosi Percikan

Erosi percikan disebabkan oleh tumbukan air hujan terhadap permukaan tanah. Tumbukan butir-butir hujan itu akan menyebabkan pemecahan dan pemercikan tanah.

4. Erosi Permukaan

Tebal limpasan di muka lahan tidak merata sehingga kemampuannya mengikis lapisan tanah juga berbeda-beda. Daya rusak limpasan ini terutama dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Pada kecepatan rendah dan aliran tenang, limpasan tidak

menyebabkan erosi serius. Setelah mencapai nilai kecepatan tertentu limpasan akan mengerosi permukaan yakni jika kekuatan limpasan lebih besar daripada ketahanan tanah.

5. Erosi internal

Erosi internal merupakan suatu bentuk erosi dimana partikel-partikel tanah primer terangkut ke lapisan lebih bawah melalui celah atau retakan atau pori-pori tanah sehingga lapisan pengendapannya menjadi lapisan kedap air dan udara.

6. Erosi Trowongan

Erosi trowongan merupakan bentuk erosi di mana tanah diangkat ke bagian bawah dan terbentuk suatu pipa atau trowongan yang memanjang dari lapisan permukaan ke lapisan bawah permukaan. Erosi ini biasanya terjadi pada daerah-daerah tertentu yang biasanya tidak cocok untuk pertanian.

7. Erosi Lapik

Erosi lapik merupakan erosi yang terjadi di sekitar pepohonan atau batuan. Oleh karena di sekitar pangkal pohon atau batu itu tererosi oleh percikan butiran hujan, sedangkan tanah yang dekat akar pohon atau batu itu terlindungi dari percikan dan tidak tererosi.

8. Erosi Mercu

Erosi mercu merupakan erosi yang terjadi pada tanah/batu yang hasil erosinya akan meninggalkan tonggak-tonggak tanah dan merupakan bagian tanah resisten. Umumnya tanah-tanah kaya natrium.

9. Erosi Selokan

Erosi selokan disebabkan oleh limpasan air dari lahan luas dimana tanah dan tanaman yang ada tidak mampu menyerap seluruh air hujan dan aliran air yang berlebihan serta memusatkan pada daerah sempit pada kecepatan cukup besar untuk membawa tanah dan menyebabkan erosi.

Berikut beberapa penyebab erosi:

1. Penyebab erosi adalah kekuatan jatuh butir2 hujan dan aliran air di permukaan tanah (overland flow)
2. Energi jatuhnya butir2 hujan lebih besar karena kecepatan jatuhnya antara 6-10 m/det
3. Kehilangan lapisan tanah (subsoil) tidak baik bagi pertumbuhan tanaman
4. Laju erosi tergantung intensitas hujan, tumbuhan penutup dan kekuatan tanah
5. Laju pengangkutan tanah kehilir tergantung hujan, tumbuhan penutup, geometri lereng

## **Erosi Sungai**

Air yang mengalir pada permukaan sedimen, mengerjakan gaya pada butiran yang cenderung menggerakkannya. Gaya yang menahan gaya yang ditimbulkan oleh air yang mengalir berbeda-beda sesuai dengan ukuran butiran dan distribusi ukuran pada sedimen. Untuk sedimen kasar misalnya pasir dan kerikil, gaya penahan gerakan terutama disebabkan oleh berat partikel. Sedimen halus yang mengandung lumpur atau tanah liat atau keduanya, cenderung bersifat kohesif dan menahan gerakan dengan gaya kohesifnya dari pada dengan gaya berat butir secara individu. Dengan demikian sedimen halus ini disebut sedimen kohesif karena sesuai dengan sifatnya, sedangkan sedimen kasar yang bersifat non kohesif menahan gerakan dengan gaya berat butir individu dan bergerak sebagai butiran-butiran yang bebas disebut sedimen non kohesif.

Apabila suatu partikel sedimen terlepas, maka ada kemungkinan untuk terangkut. Proses bergerak partikel dari tempat asalnya atau tempat menetap disebut erosi. Pada saluran, aliran air mengikis material yang ada di tebing dan atau dasar saluran sampai aliran “termuat” oleh sedemikian banyak butiran sedimen sebesar energi aliran yang akan dapat mengangkutnya dan terjadilah proses angkutan.

Pada umumnya, cara pergerakan angkutan sedimen dibagi menjadi 3 macam :

- bergulung dan atau meluncur
- bergeser atau meloncat
- melayang

Partikel yang bergerak dengan cara bergulung, meluncur dan meloncat disebut angkutan muatan dasar (*bed load transport*), sedangkan partikel yang melayang disebut angkutan muatan layang (*suspended load transport*). Angkutan sedimen sangat berhubungan dengan erosi permukaan tanah dan pengendapan, ketiganya tergantung dari kecepatan aliran. Proses pengendapan sendiri adalah proses di mana material sedimen tersuspensi dalam air menempati atau mengisi dasar saluran menjadi sedimen dasar. Hal ini terjadi bila kecepatan aliran menurun. Keseluruhan proses ini dapat dilihat sebagai siklus yang kontinue yaitu erosi, angkutan, pengendapan.

## **Sedimentasi**

Sedimentasi : Proses pengendapan sedimen yg dihasilkan oleh proses erosi dan terbawa oleh aliran air atau angin pada suatu tempat yg kecepatan alirannya melambat atau terhenti

Tanah endapan ada 2 macam :

1. Tanah Alluvial - diendapkan oleh air

## 2. Tanah Aeolian - diendapkan oleh angin

Daerah yang terkena sedimentasi

- Waduk/Danau : Terjadi pendangkalan yg mengurangi kapasitas daya tampung
- Sungai : Dasar sungai menjadi dangkal, daya penyaluran air berkurang
- Saluran Irigasi : Dasar saluran menjadi dangkal, debit berkurang
- Muara : Muara menjadi dangkal, kapal2/perahu2 tidak dapat masuk ke hulu

Gerakan sedimen terdiri atas beberapa gerakan yaitu:

- Muatan kontak (contact load) – muatan yg mengguling dan menggeser yg kontak terus menerus dengan dasar sungai
- Muatan bergumpal (station load) – muatan kasar dan bergumpal yg bergerak didasar sungai
- Muatan dasar (bed load) – butir2 kasar yg bergerak di dasar sungai
- Muatan material dasar (bed material load) – butir-butir pasir yg bergerak didasar sungai
- Muatan melayang (suspended load) – muatan diantara dasar sungai dan permukaan air dan muatan yg larut dalam air
- Muatan cuci (wash load) – muatan ringan yg mengambang dipermukaan air

### **Analisa Sedimen**

Perhitungan sedimen berdasar rumus Schocklitsch :

$$G = \Delta (V \times A)^{0.2}$$

G – Pengaliran sedimen tiap tahun ( $m^3/th$ )

$\Delta$  – Koefisien DAS (tidak berdimensi)

V – Volume air rata2 tahunan ( $m^3/th$ )

A – luas DAS ( $km^2$ )

Nilai  $\Delta$  tergantung pada kondisi DAS :

- $\Delta = 100 - 300$  utk kondisi DAS yg baik
- $\Delta = 600 - 1000$  utk kondisi DAS yg sangat luas dgn struktur batuan yg kompleks
- $\Delta = 1650 - 4500$  utk kondisi DAS yg rusak (gundul, rawan longsor dll)

**Contoh perhitungan :**

Sungai Jeneberang di Sulawesi Selatan pada stasiun pengukuran di Bili-Bili mempunyai debit rata-rata  $Q_r = 48.08 \text{ m}^3/\text{det}$ .

Volume rata-rata tahunan (1 hari = 86.400 detik) :

$$V = 48.08 \times 365 \times 86.400 \text{ m}^3/\text{th} = 1.516 \text{ juta m}^3/\text{th}$$

Luas DAS dihitung dgn planimeter :

$$A = 384.4 \text{ km}^2$$

DAS rusak berat dgn  $\Delta = 2.500$

$$G = \Delta (A \times V)^{0.2} = 2.500 \times (1.516 \text{ juta} \times 384.4)^{0.2} = 563.685 \text{ m}^3/\text{th}$$

Besarnya pengangkutan sedimen per tahun =  $563.685 : 384.4 = 1.466 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{th}$

Berdasar pengalaman, waduk-waduk di Indonesia mempunyai tampungan sedimen berkisar antara  $850 - 1.700 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{th}$ .

Berikut beberapa bangunan pengendali sedimen antara lain:

- Sabo Dam
- Check Dam
- Dam Konsolidasi
- Kantong Lahar
- Tanggul
- Normalisasi Sungai
- Krib
- Perkuatan Tebing

### **Sabo dam**

Sa – Pasir (Sand) ; Bo – Penanggulangan (Prevention). Bendungan Sabo (Sabo Dam) : Konstruksi bendungan khusus utk pengendalian aliran bahan muntahan gunung berapi (volcanic debris). Teknik Sabo (Sabo Engineering) Teknik penanggulangan bencana akibat pergerakan tanah atau sedimen yg dibawa oleh aliran air. Diusulkan oleh seorang ahli konservasi dari Amerika Serikat Dr. Lowermilk waktu berkunjung ke Jepang tahun 1951.

Fungsi utama dari sabo dam adalah melindungi manusia dengan pemukiman dan harta benda dari gangguan bencana alam akibat erosi dan sedimentasi, memelihara kelestarian alam dan lingkungan, mengembangkan daerah melalui pemanfaatan bangunan sabo secara serba guna.

Berikut beberapa cara penanganan erosi dan sedimentasi:

1. Penanganan erosi permukaan tanah - Drainase penampung aliran (Storm water diversion drain)
  - Teras alur (Channel terrace)
  - Teras bangku (Bench terrace)
2. Pengendalian sedimen di daerah non vulkanik
  - a. Penanganan aliran sedimen di daerah non vulkanik  
Dengan bangunan penahan sedimen :
    - Di daerah sedimen : dam, hill side works
    - Di tebing : groundsill, revetment
    - Di dasar sungai : dam, groundsill, channel works
    - Di sungai : dam, kantong pasir (sand pocket)  
Dengan bangunan untuk mengatur aliran : dam, groundsill
  - b. Penanganan/Pencegahan Tanah Bergerak (Land slides)
    - Dengan pembuatan drainase
    - Dengan tembok penahan
    - Dengan stabilisasi lereng dengan tiang pancang
    - Dengan pembuatan angker

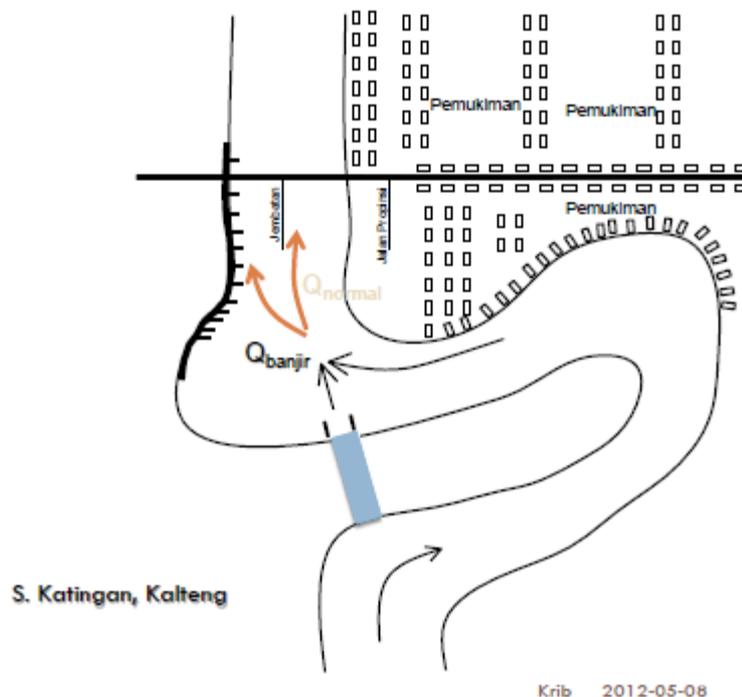
Selain secara teknis seperti yang diuraikan diatas, pengendalian erosi dan sedimentasi juga dapat dilakukan dengan cara non teknis antara lain :

1. Manajemen DAS Hulu
  - Pengaturan tata guna lahan
  - Penanaman hutan dan penghutanan kembali
  - Desiminasi/Penyuluhan
2. Manajemen Daerah Bantaran Sungai
  - Mobilisasi masyarakat
  - Perkiraan dan pemberitaan bencana dan evakuasi
  - Mitigasi bencana berbasis masyarakat

## BAB 7

### KONSTRUKSI BANGUNAN-BANGUNAN DI SUNGAI

#### Krib/ Groin/ Groyne



Struktur sungai yang ditujukan untuk

1. Stabilisasi alur
2. Pelindung tebing
3. Pengarah aliran

Bentuk dari bangunan ini adalah sebuah konstruksi/dinding penghalang aliran, berpangkal di salah satu tebing/sisi dan berujung di alur sungai.

Krib dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Impermeable groins

Groin tipe ini adalah tipe groin yang konstruksi di buat agar aliran tidak dapat menembus atau melewati groin. Groin tipe ini terbuat dari pasangan batu kali, bronjong, beton, sheet pile.



Gambar. Impermeable groins

## 2. Permeable groins

Groin tipe permeable groins merupakan groin dengan konstruksi yang dapat di tembus atau dilewati oleh aliran air. Terbuat dari tiang pancang beton dan tiang pancang baja.



S. Progo (di Sapon)

Krib 2012-05-08

Gambar. Permeable Groins

Pada suatu sungai, biasanya groin diletakan dalam beberapa posisi, antara lain:

1. Berbaris searah aliran disepanjang tebing yang ingin dilindungi atau sepanjang alur yang diatur atau distabilkan (sisi luar belokan)
2. Orientasinya bisa tegak lurus, serong terhadap tebing ataupun sejajar terhadap aliran.
3. Jumlah dan jarak krib
4. Diatas atau dibawah muka air

Sebuah groin atau krib didesain secara baik untuk menahan laju aliran, sehingga ruang diantara krib tenang dan menyebabkan sedimentasi dan aliran akan terdorong di bagian ujung dari krib yang mengakibatkan erosi. Penempatan groin akan membentuk alur sungai yang baik di daerah sekitar tempat peletakannya.

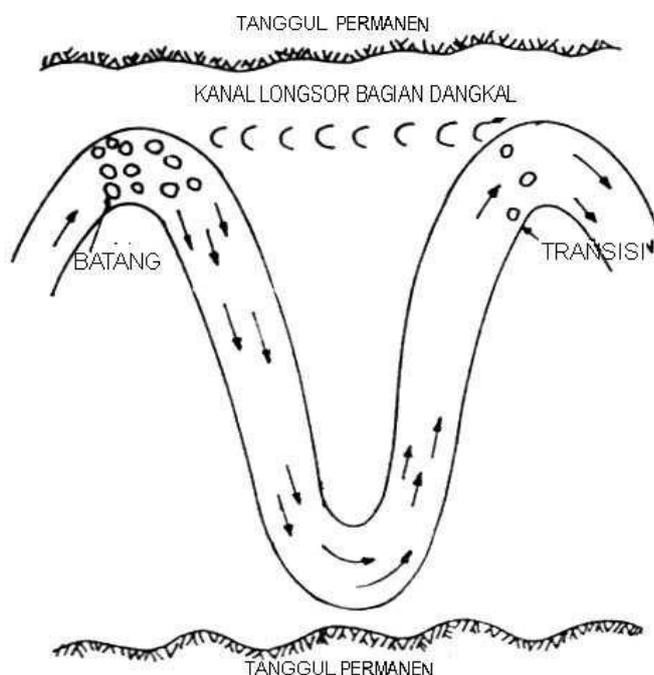
Dalam mendesain suatu krib atau groin kita perlu memperhatikan beberapa hal berikut, antara lain:

1. Penentuan panjang krib
2. Peletakan bertahap krib, diawali dari krib pendek dan secara bertahap diperpanjang.
3. Memperhitungkan ancaman gerusan di ujung krib. Bagian ujung dari krib sangat rentan terhadap gerusan lokal karena menahan energi kinetik yang besar.
4. Krib yang berada di hulu rentan terhadap gerusan lokal di tebing.
5. Jarak krib tidak boleh terlalu jauh
6. Ancaman gerusan tebing di sisi sungai seberang krib.

## BAB 8

### SUDETAN

Ketika kelokan sungai berkembang sampai mencapai kondisi yang ekstrim menyerupai bentuk tapalkuda, maka lahan di antaranya lambat laun menciut menjadi leher sempit yang dapat terpotong menjadi sudetan oleh arus alami ketika terjadi banjir. Sudetan dapat didefinisikan sebagai suatu proses terjadinya aliran sungai aluvial yang memungkinkan suatu lengkungan sungai menghilangkan belokan tertentu dan membuat aliran utama secara komparatif mengalir melalui alur yg lurus dan lebih pendek.



Perkembangan suatu sudetan disebabkan oleh hal-hal sbb :

- *Perkembangan gundukan pasir pada belokan (inflection).* Pembentukan dan pertumbuhan gundukan pasir pada belokan memperlambat aliran melalui alur utama dan menyebabkan terjadinya aliran melalui alur-alur samping yg dangkal yang sudah ada. Alur utama yang mengalir dengan debit yg makin kecil terus menimbun endapan, sedangkan alur samping yg ukurannya membesar mengalirkan debit yang semakin besar dan pada akhirnya membentuk *sudetan*.
- *Terjadinya beda muka air pada pertemuan alur utama dengan alur samping.* Alur samping biasanya mempunyai kecepatan lebih rendah dan jarak yg lebih pendek dengan perbedaan tinggi yang sama dengan alur utama. Karena itu alur samping masuk ke alur utama dengan

terjunan setempat. Beda tinggi muka air setempat ini memotong balik ke alur samping dan membantu terbentuknya sudetan.

- *Penampang melintang yang tidak memadai dan kemiringan yg terjal.* Penampang melintang yang tidak memadai dan kemiringan yg terjal pada alur samping menimbulkan kecepatan yang dapat mengikis dasar dan tebing alur sehingga membentuk aliran utama pada sungai.
- *Erosi pada tikungan.* Sungai menambah lengkungnya dengan erosi pada tebing cekung di tikungan. Erosi bisa terjadi sampai suatu batas sehingga lengkung sungai dengan leher sempit saling memotong satu dengan lainnya dan terjadilah *sudetan*.
- *Lamanya terjadi banjir.* Lamanya terjadi banjir cukup membuat aliran dapat menggerus dasar dan tebing sungai.

Sudetan alami ini sering menyebabkan terjadinya perubahan besar pada *regime* sungai, membuat kemiringan lebih terjal, menimbulkan erosi pada rentang sungai di atas sudetan, dan turunnya permukaan air di bagian hulu sungai. Karena terjadi berkurangnya kemampuan menyimpan air pada alur sungai (*channel storage*) di hulu sudetan, maka banjir yang deras bisa mengancam kawasan sungai di hilir. Material tererosi yang besar pada sudetan dapat merusak alur sungai di hilirnya. Karena regime ini hanya terkena dampak sementara, maka sungai bisa mengalami meandering lagi dalam mencari keseimbangan yg baru.

## **BAB 9**

### **EKOHIDRAULIK**

#### **Ekologi**

Studi hubungan hidup organisme dalam hubungan satu sama lain dan lingkungan mereka. Ekologi tidak identik dengan lingkungan, environmentalisme, sejarah alam atau ilmu lingkungan. Hal ini erat berkaitan dengan fisiologi, biologi evolusi, genetika dan etologi.

Sebuah pemahaman tentang bagaimana keanekaragaman hayati mempengaruhi fungsi ekologis bidang penting fokus dalam studi ekologi. Ekosistem mempertahankan setiap-fungsi pendukung kehidupan di planet ini, termasuk iklim regulasi, penyaringan air, tanah formasi (pedogenesis), makanan, serat, obat-obatan, pengendalian erosi, dan banyak fitur alam lainnya, sejarah atau rohani nilai ilmiah.

Ekologi berusaha untuk menjelaskan:

- kehidupan proses dan adaptasi
- distribusi dan kelimpahan organisme
- pergerakan material dan energi melalui hidup masyarakat
- dalam suksesi pengembangan ekosistem, <sup>[6]</sup> dan
- yang kelimpahan dan distribusi keanekaragaman hayati dalam konteks lingkungan

#### **Ada banyak aplikasi praktis ekologi**

- di biologi konservasi,
- pengelolaan lahan basah,
- pengelolaan sumber daya alam (pertanian, kehutanan, perikanan),
- perencanaan kota (ekologi perkotaan),
- kesehatan masyarakat,
- ekonomi, dasar & ilmu terapan
- dan menyediakan kerangka kerja konseptual untuk memahami dan meneliti interaksi sosial manusia (ekologi manusia).

#### **Morfologi Sungai**

- Konsep Keseimbangan  
sungai terbentuk sesuai dengan kondisi geografi, ekologi, dan hidrologi daerah setempat, serta dalam perkembangannya akan mencapai kondisi keseimbangan dinamikanya. (Kern, 1994)
- Perkembangan arah memanjang

Kondisi geografi banyak menentukan letak dan bentuk alur sungai memanjang dan melintang

- Perkembangan arah melintang

Ekologi menentukan tampang melintang dan keanekaragaman hayati serta faktor resistensi sungai

- Hidrologi menentukan besar kecil dan frekuensi aliran air di sungai
- Ketiga faktor tsb saling terkait dan berpengaruh secara integral membentuk morfologi, ekologi, dan hidraulika sungai alamiah.
- Morfologi, ekologi, dan hidraulika sungai kecil dalam suatu sistem menentukan morfologi, ekologi, dan hidraulika sungai orde berikutnya.

## **Konsep Eko-Hidrolik Sungai**

Fungsi sungai:

- Fungsi saluran Eko-drainase

Bagaimana membuang air kelebihan selambat-lambatnya ke sungai

- Fungsi saluran irigasi (hati-hati )

Kehilangan air di saluran dengan menggunakan sungai kecil lebih kecil drpd menggunakan saluran tanah buatan, karena pd umumnya porositas sungai relatif lebih rendah mengingat adanya kandungan lumpur dan sedimen gradasi kecil yg reltif tinggi.

- Fungsi ekologi

Komponen ekologi sungai adalah vegetasi daerah badan, tebing, dan bantaran sungai. Pada sungai sering juga ditemui sisa2 vegetasi mis: kayu mati yang posisi melintang atau miring di sungai. Kayu mati ini pd sungai kecil dan menengah menunjukkan fungsi hidraulik maupun ekologi yg berarti. Fungsi hidrauliknya: kayu mati ini akan dpt menghambat aliran air ke hilir, aliran air terbandung sehingga air tertahan di daerah hulu. Keuntungan ekologinya: kayu mati ini dpt menciptakan keheterogenan kecepatan aliran air dan kedalaman muka air. Disamping itu juga terjadi terjunan-terjunan kecil yang dapat meningkatkan kandungan oksigen dalam air. Kondisi fisik yg demikian ini

merupakan habitat yg cocok untuk flora dan fauna suatu sungai, sekaligus berfungsi sbg retensi aliran air.

Dalam pengelolaan sungai, ekohidrolik mempunyai beberapa konsep dalam mengelola sebuah sungai, antara lain:

1. Kompilasi data

Kompilasi data terdiri atas:

- Fisik hidraulik
- Ekologi kimia biologi
- Aktivitas sosial

2. Bangunan sungai

- Bendung
- Penelusuran sungai
- Sudetan
- Tanggul

Secara umum eko-hidraulik menganalisa dengan berbagai bidang tinjauan, seperti :

1. Tinjauan hidraulik

- Kecepatan aliran erosi
- Retensi
- Debit aliran dan debit puncak

2. Tinjauan ekologis ( flora dan fauna )

3. Tinjauan khusus fauna

### **Restorasi Sungai**

Pada kondisi lingkungan yang seperti sekarang ini, terdapat banyak kerusakan

- Meningkatkan Daerah Retensi Sungai
- Meningkatkan ruang resistensi bantaran banjir alamiah
- Mendukung proses dinamik sungai secara alamiah
- Membelok-belokkan sungai yg telah diluruskan
- Membuka kembali oxbow lama
- Menstabilisasi muka air tanah
- Implementasi metode teknik biologi dalam pengelolaan sungai
- Membuat bangunan kemenerusan sistem sungai
- Mengatur pembagian debit sungai
- Mengurangi amplitudo gelombang kapal pada lalu lintas sungai

- Implementasi Konsep eko-hidrolik dengan mengharmoniskan aspek hidrolik, morfologi dan ekologi sungai

## **BAB 10**

### **PENANGGULANGAN BANJIR**

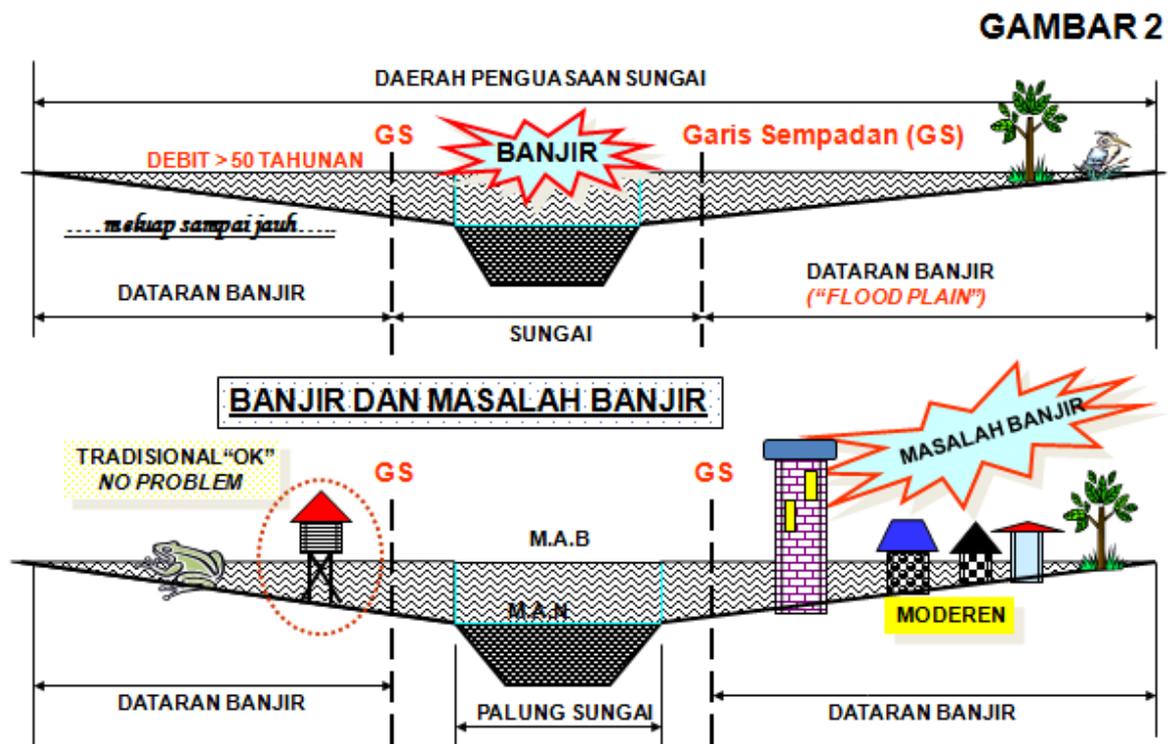
Hampir seluruh negara di dunia mengalami masalah banjir, tidak terkecuali di negara-negara yang telah maju sekalipun. Masalah tersebut mulai muncul sejak manusia bermukim dan melakukan berbagai kegiatan di kawasan yang berupa dataran banjir (*flood-plain*) suatu sungai. Kondisi lahan di kawasan ini pada umumnya subur serta menyimpan berbagai potensi dan kemudahan sehingga mempunyai daya tarik yang tinggi untuk dibudidayakan. Oleh sebab itu kota-kota besar serta pusat-pusat perdagangan dan kegiatan-kegiatan penting lainnya seperti kawasan industri, pariwisata, prasarana perhubungan dan sebagainya sebagian besar tumbuh dan berkembang di kawasan ini. Sebagai contoh, di Jepang sebanyak 49 % jumlah penduduk dan 75% properti terletak di dataran banjir yang luasnya hanya 10 % dari luas daratan; sedangkan sisanya 51 % jumlah penduduk dan 25 % properti yang berada di luar dataran banjir yang luasnya 90 % luas daratan.

Selain memberikan manfaat bagi kehidupan manusia, dataran banjir juga mengandung potensi yang merugikan sehubungan dengan terdapatnya ancaman berupa luapan dan genangan banjir yang dapat menimbulkan kerusakan dan bencana. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan di dataran banjir maka potensi terjadinya kerusakan dan bencana tersebut mengalami peningkatan pula dari waktu ke waktu.

Hampir seluruh kegiatan penanganan masalah banjir sampai saat ini dilakukan oleh Pemerintah, lewat berbagai proyek dengan lebih mengandalkan pada upaya-upaya yang bersifat struktur (*structural measures*). Berbagai upaya tersebut pada umumnya masih kurang memadai bila dibandingkan dengan laju peningkatan masalah. Masyarakat baik yang secara langsung menderita masalah maupun yang tidak langsung menyebabkan terjadinya masalah masih kurang berperan baik dalam proses perencanaan, pelaksanaan dan operasi serta pemeliharaan terhadap sarana dan prasarana fisik pengendali banjir, maupun terhadap upaya-upaya non-struktur. Hal itu disebabkan adanya berbagai kendala/ keterbatasan yang ada di masyarakat antara lain menyangkut kondisi sosial ekonomi serta pemahaman terhadap penanganan masalah.

Masalah banjir berdampak sangat luas terhadap berbagai aspek kehidupan masyarakat. Oleh sebab itu upaya untuk mengatasinya harus merupakan bagian yang tak terpisahkan dari berbagai kegiatan pembangunan dalam rangka meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Perubahan lingkungan alam termasuk perubahan iklim berkenaan dengan

pemanasan global yang terjadi pada akhir-akhir ini berdampak sangat buruk terhadap upaya mengatasi masalah banjir, antara lain dengan terjadinya kenaikan muka air laut dan peningkatan frekuensi curah hujan yang tinggi. Sehubungan dengan itu diperlukan penyempurnaan atau perubahan paradigma, kebijakan, strategi dan upaya penanganan masalah banjir, baik yang menyangkut aspek teknis maupun non-teknis.

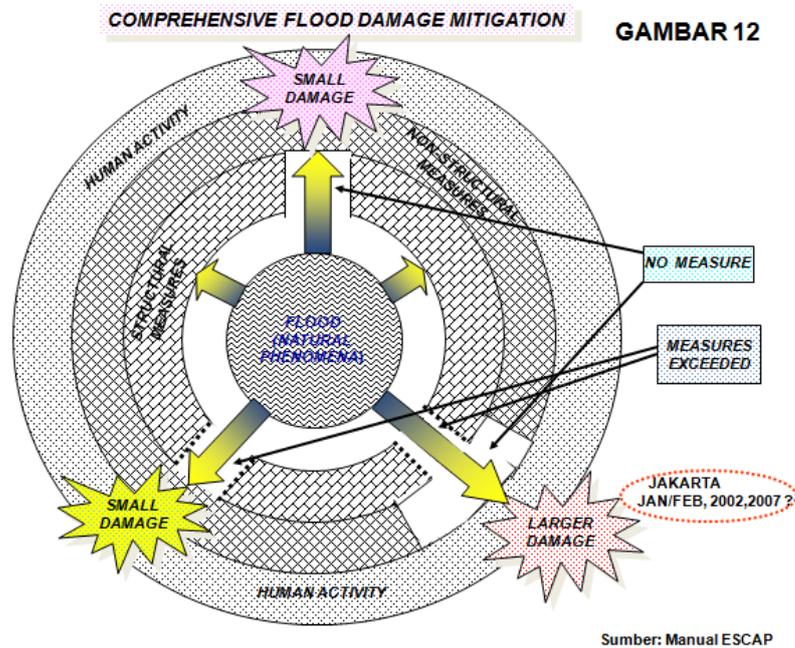


Gambar. Banjir di area sekitar sungai

### Upaya Mengatasi Masalah Banjir

- a. Untuk mengatasi masalah banjir dan genangan sampai saat ini lebih mengandalkan pada upaya yang bersifat represif dengan melaksanakan berbagai kegiatan fisik/upaya struktur yaitu dengan membangun sarana dan prasarana pengendali banjir dan atau memodifikasi kondisi alamiah sungai sehingga membentuk suatu sistem pengendali banjir (*in-stream*). Langkah tersebut diterapkan hampir di seluruh negara-negara di dunia yang mengalami masalah banjir. Sedangkan upaya yang bersifat mencegah terjadinya masalah (*preventif*) yang pada dasarnya merupakan kegiatan non-struktur penerapannya masih terbatas. Di beberapa negara upaya struktur telah dikombinasikan dengan upaya non-struktur (*off-stream*) sehingga membentuk sistem penanganan yang menyeluruh /komprehensif seperti misalnya di Jepang Namun ada juga negara yang mulai meninggalkan upaya struktur dan lebih mengutamakan upaya non-struktur. Kedua jenis upaya ini berfungsi untuk menekan/memperkecil besarnya

masalah banjir (*flood damage mitigation*) dan tidak dapat menghilangkan masalah atau membebaskan dataran banjir terhadap masalah banjir secara mutlak (Skema 3 dan Skema 4).



Gambar. Dampak banjir

b. Berbagai jenis kegiatan fisik/struktur berikut manfaatnya antara lain :

- Pembangunan tanggul banjir untuk mencegah meluapnya air banjir sampai tingkat/besaran banjir tertentu. Dengan dibangun tanggul terbentuk penampang sungai yang tersusun untuk mengalirkan debit banjir rencana
- Normalisasi alur sungai, penggalian sudetan, banjir kanal, dan interkoneksi antar sungai untuk merendahkan elevasi muka air banjir di sungai. Berbagai kegiatan ini harus direncanakan dengan sangat hati-hati mengingat perubahan apapun yang dilakukan terhadap sungai akan menimbulkan reaksi dari sungai, yang boleh jadi hasilnya berbeda bahkan berlawanan dengan yang diinginkan. Normalisasi sungai di daerah aluvial dengan cara menggali/memperbesar palung sungai (*low water channel*) agar mampu mengalirkan debit banjir rencana (yang lebih besar dari debit dominannya), merupakan kegiatan yang sia-sia karena palung sungai akan kembali pada dimensi awal/alamiahnya
- Pembangunan waduk penampung dan atau retensi banjir, banjir kanal dan interkoneksi untuk memperkecil debit banjir; serta

- Pembangunan waduk/polper, pompa dan sistem drainase untuk mengurangi luas dan tinggi genangan.
- c. Berbagai jenis prasarana fisik tersebut di atas pada umumnya tidak berdiri sendiri namun dikombinasikan satu dengan lainnya sehingga membentuk satu kesatuan sistem pengendali banjir. Kondisi dan permasalahan pada setiap sungai selalu berbeda atau tidak ada yang sama, sehingga penetapan sistem pengendali banjir yang optimal pada setiap sungai harus melewati suatu kajian yang menyeluruh dengan membandingkan beberapa alternatif/kombinasi. Sistem tersebut direncanakan berdasarkan besaran debit banjir tertentu misalnya debit banjir 5 tahunan, 10 tahunan, 25 tahunan, 50 tahunan dan 100 tahunan sesuai dengan tingkat kelayakannya; dan bukan untuk debit banjir yang terbesar. Oleh sebab itu upaya struktur ini selalu mengandung keterbatasan, atau tidak dapat membebaskan lahan di dataran banjir terhadap kemungkinan tergenang banjir secara mutlak. Meskipun telah dilaksanakan upaya struktur, pada lahan dataran banjir tetap beresiko tergenang banjir. Sebagai ilustrasi dapat diperiksa pada Gambar 6 yang menunjukkan satu contoh pengendalian banjir dengan tanggul yang mempunyai keterbatasan. Beberapa catatan yang terkait dengan upaya struktur antara lain pada Manual ESCAP ditulis:
- *Various structural measures are being employed in order to control an excess flow of water so that a flood may be prevented or, at least its worst effects reduced. These devices include engineering works, embankments, detention reservoirs, river channel improvement and facilities for flood diversion etc.*
  - *It should be noted that structural measures tend to create a false sense of security in the population protected by the works. Although these works can provide complete protection against flood damage up to the level of the design flood, catastrophic failure may occur if the design level is exceeded.*
  - *Therefore, special provision should be considered at the design stage to incorporate measures which will ensure that the effects of failure are minimized and that the associated damages and disruptions are made no worse than under the pre-protection situation.*
  - *Whatever measures of flood protection is provided, it would be futile to expect absolute immunity from flood risk*

- d. Perencanaan teknis sistem pengendali banjir (secara struktur) yang selama ini dikerjakan didasarkan pada debit banjir rencana dengan besaran tertentu, tanpa mengantisipasi kemungkinan terjadinya debit banjir yang lebih besar dari debit banjir rencana tersebut. Terjadinya kerusakan dan bencana banjir yang relatif besar yang sering terjadi akhir-akhir ini antara lain disebabkan karena masalah ini. Oleh karena itu perlu penyempurnaan dan koreksi. Koreksi yang sering dilaksanakan adalah dengan meninggikan tanggul atau memasang *parapet wall*. Upaya tersebut tidak dibenarkan karena meskipun tanggul telah ditinggikan toh masih tetap ada kemungkinan terlampaui banjir, kecuali dengan memperbesar debit banjir rencana menjadi debit banjir maksimum (PMF). Upaya yang terakhir ini belum pernah dilaksanakan di manapun di dunia ini karena selain tidak layak, konstruksi tanggul yang sangat tinggi berpotensi menimbulkan bencana yang lebih dahsyat apa bila jebol. *Super dyke* yang dibangun di Jepang pun bukan tingginya yang *super*, melainkan lebarnya; sehingga tanggul tidak jebol pada saat terlampaui banjir. Penyempurnaan yang tepat adalah melengkapi upaya struktur tersebut dengan upaya non-struktur. Masyarakat yang tinggal di lahan yang berupa dataran banjir harus sadar dan faham bahwa meskipun telah dibangun prasarana fisik pengendali banjir, lahan tersebut sewaktu-waktu masih dapat tergenang banjir. Mereka harus selalu siap dan waspada serta ikut berupaya menekan besarnya kerugian/bencana, antara lain dengan membangun rumah panggung dan berbagai upaya adaptasi / penyesuaian lainnya. Upaya lain dalam rangka mengantisipasi terjadinya debit banjir yang lebih besar dari debit banjir rencana, misalnya konstruksi tanggul untuk daerah permukiman/perkotaan padat harus dibangun cukup aman dan stabil serta tidak jebol pada saat terjadi limpasan di atas mercu tanggul.
- e. Selain menyangkut debit banjir yang berubah-ubah/dinamis, perencanaan teknis sistem pengendali banjir merupakan bagian dari rekayasa di bidang sungai (*river engineering*). Kesalahan mendasar yang sering terjadi di lapangan disebabkan keterbatasan pengetahuan perencana di bidang rekayasa sungai; dan mereka merencanakan penanganan sungai seperti layaknya perencanaan untuk saluran irigasi. Sampai saat ini perencana, pelaksana ataupun pengawas pekerjaan dalam penanganan sungai seolah-olah tidak pernah membuat kesalahan, karena kerusakan bahkan kegagalan yang terjadi akibat kesalahan tersebut selalu dinyatakan sebagai akibat bencana alam. Agar terdapat tanggung jawab profesional yang jelas bagi perencana dan pelaksana sejalan dengan

UU-18/99 tentang Jasa Konstruksi, perlu adanya ketentuan/kriteria/ batasan yang baku dan jelas tentang kerusakan bangunan di sungai termasuk akibat bencana alam (Skema 5). Di bidang rekayasa sungai, tulisan Margaret S. Peterson dalam bukunya *River Engineering* (1986) berikut ini dapat dipakai sebagai referensi:

- *River engineering is concerned with the entire process of planning, design, construction, and operation of works of various kinds for the purpose of modifying natural river conditions to better serve human needs.*
  - *All river engineering works changes the natural river environment and morphology to a greater or lesser extent.*
  - *River engineering works may vary greatly in size and in their effect on river behaviour.*
  - *River improvement schemes always need careful consideration in a scientific and practical approach. Execution of each scheme should be followed by a continuous survey and study of its gradually growing effect on the river and the environment.*
  - *It is important to know the characteristic of the river so that engineering works can be designed that will help the river to do what it would do naturally rather than designed to force it into unnatural condition which will fail ultimately.*
  - *River engineering is more of an art than a science, because some phenomena in the formation and deformation of river channels are still not yet fully understood, and models some time cannot give fully reliable answers.*
- f. Kegiatan nonfisik/non-struktur bertujuan untuk menghindarkan terjadinya masalah atau menekan besarnya masalah yang ditimbulkan oleh banjir menjadi sekecil mungkin. Pelaku utama dari kegiatan ini adalah masyarakat baik secara langsung maupun tidak langsung. Upaya non-struktur tersebut antara lain berupa:
- Konservasi tanah dan air di DAS hulu untuk menekan besarnya aliran permukaan dan memperkecil besarnya debit puncak banjir, serta pengendalian erosi untuk mengurangi pendangkalan/sedimentasi di dasar sungai. Kegiatan ini merupakan gabungan antara rekayasa teknik sipil dengan teknik agro, antara lain dengan membangun terasering, bangunan terjunan, *check-dam*/dam penahan sedimen, dam pengendali sedimen, kolam retensi, dam parit, penghijauan dan reboisasi, serta sumur resapan.

- Pengelolaan dataran banjir (*flood-plain management*) berupa penataan ruang dan rekayasa di dataran banjir yang diatur dan menyesuaikan sedemikian rupa, sehingga selaras dengan kondisi dan fenomena alam termasuk kemungkinan terjadinya banjir. Dengan demikian maka resiko/kerugian/ bencana yang timbul apabila tergenang banjir sekecil mungkin (*flood risk management/flood damage management*). Rekayasa yang berupa bangunan antara lain berupa: rumah tipe panggung (Gambar 9), rumah susun, jalan layang, jalan dengan perkerasan beton, pengaturan penggunaan rumah/gedung bertingkat yang terlanjur dibangun di dataran banjir, dan sebagainya. Sedangkan rekayasa di bidang pertanian dapat berupa pemilihan varietas tanaman yang tahan genangan. Perangkat lunak yang diperlukan antara lain berupa *flood-plain zoning*, *flood risk map*, dan rambu-rambu atau papan peringatan dan monumen yang dipasang di dataran banjir.
- Penataan ruang dan rekayasa di DAS hulu (yang dengan pertimbangan tertentu kemungkinan ditetapkan menjadi kawasan budidaya) sedemikian rupa sehingga pembudidayaan/ pendayagunaan lahan tidak merusak kondisi hidroorologi DAS dan tidak memperbesar debit puncak banjir dan masalah banjir.
- Penanggulangan banjir (*flood-fighting*) untuk menekan besarnya bencana dan mengatasinya secara darurat. Kegiatan ini merupakan bagian dari kegiatan satkorlak penanggulangan bencana, yang dilaksanakan sebelum kejadian banjir (meliputi perondaan dan pemberian peringatan dini kepada masyarakat yang tinggal di daerah rawan banjir/dataran banjir), pada saat kejadian banjir berupa upaya penyelamatan, pengungsian penutupan tanggul yang bocor dan atau limpas, maupun kegiatan pasca banjir yang berupa penanganan darurat perbaikan kerusakan akibat banjir.
- Penerapan sistem prakiraan dan peringatan dini (*flood forecasting and early warning system*) untuk menekan besarnya bencana bila banjir benar-benar terjadi. Upaya ini untuk mendukung kegiatan penanggulangan banjir.
- *Flood-proofing* yang dilaksanakan sendiri baik oleh perorangan, swasta maupun oleh kelompok masyarakat untuk mengatasi masalah banjir secara lokal, misalnya di kompleks permukiman/real estat dan industri, antara lain dengan membangun tanggul keliling, polder dan pompa, serta rumah panggung. Bangunan dan prasarana umum yang penting seperti rumah sakit, gardu listrik, jalan tol, bandar udara seharusnya dibuat *flood-proof* sehingga tidak lumpuh dikala banjir.

Beberapa kompleks perumahan dan industri di DKI Jakarta telah melaksanakan upaya ini secara mandiri.

- Peran masyarakat yang didukung penyuluhan dan penegakan hukum antara lain dalam menaati ketentuan menyangkut tata ruang dan pola pembudidayaan dataran banjir dan pembudidayaan DAS hulu, menghindari terjadinya penyempitan dan pendangkalan alur sungai akibat sampah padat, serta tidak mendirikan bangunan/hunian dan menanam tanaman keras di daerah sempadan sungai.

- Pengelolaan sampah.

Pengelolaan sampah yang baik adalah bila dilakukan mulai dari sumbernya (dapur, pasar, dsb), dan bukan dibiarkan masuk atau dimasukkan ke saluran drainase dan ke sungai. Pembangunan saringan penangkap sampah di saluran drainase dan di sungai yang sering dilaksanakan, justru menimbulkan masalah karena sampah yang terlambat diangkat akan menimbulkan pembendungan aliran sehingga saluran/sungai meluap dan terjadi banjir. Saluran drainase yang tertutup/ditutup di kawasan perkotaan menyulitkan pemeliharaan dan pembersihan terhadap sampah dan sedimen.

- Penetapan sempadan sungai yang diikuti dengan penegakan hukum. Dasar hukum yang dapat dipakai sebagai acuan adalah Peraturan Menteri PU No. 63 Tahun 1993 tentang Garis Sempadan Sungai, Daerah Manfaat Sungai, Daerah Penguasaan Sungai, dan Bekas Sungai. Di daerah manfaat sungai (diantara dua garis sempadan, termasuk bantaran sungai) terlarang untuk dijadikan permukiman karena merupakan bagian dari sungai yang fungsinya untuk mengalirkan banjir. Permukiman di daerah ini sangat membahayakan penghuninya disamping mempersempit alur sungai dan menghambat aliran banjir. Pada setiap sungai harus ditetapkan batas sempadannya yang diatur dengan Peraturan Daerah. Penetapan sempadan sungai tidak hanya pada bagian hilir sungai saja namun harus menyeluruh dari mata air sampai muara. Permukiman yang hanyut tersapu banjir bandang seperti halnya yang terjadi di Bahorok, Pacet/Mojokerto, Jember dan Situbondo kemungkinan besar berada di daerah manfaat sungai yang seharusnya terlarang untuk permukiman.
- Penyuluhan dan pendidikan masyarakat lewat berbagai media menyangkut berbagai aspek dalam rangka meningkatkan pemahaman, kepedulian dan perannya dalam mengatasi masalah banjir.

- Penanggulangan kemiskinan (*poverty alleviation*). Masyarakat miskin di perkotaan banyak yang terpaksa menghuni daerah sempadan sungai yang seharusnya bebas hunian karena sangat membahayakan keselamatan jiwanya; demikian pula masyarakat petani lahan kering di DAS hulu pada umumnya miskin sehingga kesulitan untuk melaksanakan pola bercocok tanam yang menunjang upaya konservasi tanah dan air. Upaya penanggulangan kemiskinan ini melibatkan berbagai instansi/sektor terkait dan masyarakat.
- g. Upaya non-struktur yang berupa pengelolaan dataran banjir (*flood plain management*) dapat dirinci sebagai berikut:
- Upaya pertama berlaku pada lahan dataran banjir yang relatif masih belum dikembangkan sehingga penataan ruang/pembudidayanya dapat diatur mengikuti pola pengelolaan dataran banjir yang benar sehingga resiko atau kerugian apabila terjadi genangan/banjir sekecil mungkin. Perangkat lunak yang diperlukan berupa peta zona dataran banjir untuk beberapa tingkat besaran banjir (*flood zone map*) sebagai masukan bagi revisi penataan ruang yang telah ada, serta ketentuan menyangkut peil banjir misalnya untuk banjir 50 tahunan dan/atau 100 tahunan.
  - Upaya kedua berlaku pada lahan dataran banjir yang telah terlanjur berkembang dan penataan ruangnya sulit/tidak mungkin untuk dilakukan revisi. Untuk itu perlu upaya menyeluruh yang merupakan kombinasi upaya struktur dan non-struktur. Upaya non-struktur antara lain dengan melakukan *flood proofing* terhadap bangunan dan prasarana penting baik secara individual maupun kolektif, serta memodifikasi/menyesuaikan peruntukan bangunan/ruangan yang beresiko tinggi tergenang banjir dengan tujuan menekan besarnya bencana/kerugian apa bila terjadi genangan/banjir. Berbagai upaya *flood proofing* yang perlu dilakukan antara lain untuk rumah sakit, gardu listrik, dan sebagainya, dengan meninggikan lantai bangunan, memodifikasi bangunan termasuk bahan bangunannya, membangun tanggul keliling yang dilengkapi pompa; serta meninggikan jalan protokol, membangun jalan layang seperti halnya jalan tol Sedyatmo, dsb. Perangkat lunak yang diperlukan berupa peta resiko banjir (*flood risk map*) dan rambu-rambu peringatan atau monumen yang menunjukkan ketinggian/kedalaman genangan banjir yang telah lewat maupun yang kemungkinan bisa terjadi untuk

beberapa tingkatan/besaran banjir. Upaya kedua ini tidak mudah untuk dilaksanakan. Berbagai peraturan daerah yang antara lain menyangkut penataan ruang dan pemberian izin yang telah ada harus terlebih dahulu direvisi/disesuaikan.

- Upaya ketiga berupa penertiban lahan yang berupa daerah manfaat/ruang milik sungai termasuk bantaran dan sempadan sumber air yang antara lain meliputi sempadan waduk, situ, dan sungai yang merupakan zona terlarang (terlarang untuk dibudidayakan). Upaya ini boleh jadi merupakan upaya yang paling sulit dilaksanakan mengingat lahan sempadan sungai di sepanjang kanan kiri tebing sungai banyak yang telah dipenuhi bangunan baik yang legal (memiliki IMB resmi) maupun yang illegal, dari yang permanen maupun yang berupa gubug sangat sederhana. Kompromi dari aspek teknis yang kemungkinan dapat ditempuh untuk mengatasi masalah ini antara lain dengan mengupayakan agar lebar penampang sungai termasuk bantarannya untuk mengalirkan debit banjir rencana dibuat seefisien mungkin.
- h. Belajar dari pengalaman yang selama ini dilaksanakan termasuk pengalaman dari negara-negara lain dengan berbagai keberhasilan dan kekurangan yang ada, dapat disimpulkan bahwa untuk mengatasi masalah banjir di Indonesia tidak cukup hanya mengandalkan upaya yang bersifat fisik/struktur saja sebagaimana yang selama ini dilaksanakan, dan harus merupakan gabungan antara upaya struktur dengan upaya non-struktur. Terhadap upaya struktur yang telah dilaksanakan masih perlu disempurnakan dan dilengkapi dengan upaya non-struktur.
- i. Upaya mengatasi masalah banjir dari waktu ke waktu mengalami perubahan yang nampaknya akan menyerupai siklus yang berulang sebagai berikut:
- Upaya pertama yang dilaksanakan sejak nenek moyang kita adalah menyesuaikan diri dengan fenomena alam yang berupa banjir , dengan membangun rumah-rumah adat yang berupa rumah panggung.
  - Upaya berikutnya adalah dengan rekayasa teknis di sungai berupa pembangunan prasarana fisik pengendali banjir.
  - Menyadari adanya keterbatasan kinerja prasarana fisik pengendali banjir, maka upaya ketiga adalah penggabungan antara prasarana fisik pengendali banjir

dengan penyesuaian dengan fenomena alam (gabungan antara upaya struktur dengan non-struktur).

Seiring dengan tumbuhnya kesadaran terhadap kelestarian lingkungan/ kelestarian alam, upaya fisik seperti pembangunan sudetan, tanggul banjir, dan bangunan perkuatan/pelindung tebing sungai yang *rigid* dan masif dinilai merusak lingkungan; sehingga akhir-akhir ini telah muncul gerakan merestorasi sungai (*river restoration*) untuk dikembalikan kepada kondisi alamiahnya. Masalah banjir kembali diatasi dengan cara menyesuaikan dengan fenomena alam . Aplikasi konsep ini di Indonesia nampaknya baru sampai pada tahap wacana



9 786027 306493

ISBN 978-602-73064-9-3



**PERPUSTAKAAN NASIONAL**  
REPUBLIK INDONESIA

No. : 631/E.8/p/12.2016

Hal. : Hasil Permohonan ISBN

Yth. Pimpinan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas  
Tarumanagara  
u.p. Bagian Penerbitan  
Jakarta

Dengan ini disampaikan hasil permohonan ISBN, sebagai berikut :

1. **Teknik sungai / Wati Asriningsih Pranoto ; editor, Aniek Prihatiningsih**  
**ISBN 978-602-73064-9-3**
2. **Petunjuk praktikum tegangan geser kritis erosi / Wati Asriningsih Pranoto ; editor,**  
**Lucky**  
**ISBN 978-602-60662-0-6**

Agar dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 08 Desember 2016



*[Handwritten Signature]*  
Dra. Prita Wulandari, MIM Lib.  
NIP. 19620610 199001 2 001



**PERPUSTAKAAN NASIONAL**  
REPUBLIK INDONESIA

Apabila buku sudah diterbitkan harap diserahkan setiap judul 2 eksemplar ke Perpustakaan Nasional RI dan 1 eksemplar ke Perpustakaan Daerah di ibukota propinsi dimana buku diterbitkan sesuai Undang-Undang Nomor 4 Tahun 1990 tentang Serah-Simpan Karya Cetak Dan Karya Rekam (Pasal 2)

Alamat pengiriman buku:

Perpustakaan Nasional RI  
Direktorat Deposit Bahan Pustaka  
Subdirektorat Deposit  
Gedung E Lt.7  
Jl. Salemba Raya 28A Kotak Pos 3624  
Jakarta 10002 – Indonesia

Terima kasih atas partisipasi anda dalam mewujudkan Koleksi Deposit Bahan Pustaka Indonesia

**UNDANG-UNDANG NOMOR 4 TAHUN 1990 TENTANG SERAH-SIMPAN KARYA CETAK DAN KARYA REKAM**

**BAB II**

**KEWAJIBAN SERAH - SIMPAN KARYA CETAK DAN KARYA REKAM**

**Pasal 2**

Setiap penerbit yang berada di wilayah negara Republik Indonesia, wajib menyerahkan 2 (dua) buah cetakan dari setiap judul karya cetak yang dihasilkan kepada Perpustakaan Nasional, dan sebuah kepada Perpustakaan Daerah di ibukota propinsi yang bersangkutan selambat-lambatnya 3 (tiga) bulan setelah diterbitkan.