



Universitas Gadjah Mada
Fakultas Teknik
Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan
Program Sarjana Prodi Teknik Sipil

Teknik Sungai

Banjir Sungai

Banjir Sungai

Pengertian banjir

Penyebab banjir

Pengendalian banjir

Penelusuran banjir

Model matematis penelusuran banjir

Banjir Sungai

Pengertian Banjir

Banjir

- Berbagai jenis banjir
 - Banjir (dari) sungai, *river flood*
 - Banjir (dari) laut, banjir (di) pantai, *coastal flood*
 - Banjir di kawasan permukiman, *urban flooding*
 - Banjir bandang, *flash flood*

Banjir Sungai



Banjir Air Bengkulu, Kota Bengkulu, 2003



Banjir Bengawan Solo, Bojonegoro Jatim, 2007

Coastal Flood



<http://nasional.news.viva.co.id/news/read/476378-banjir-di-stasiun-tawang-semarang-sudah-surut>



<http://www.rumahinformasi.com/wp-content/uploads/2014/01/Stasiun-Tawang-Semarang.jpg>

6 Stasiun Kereta Api Tawang, Semarang, 2014

Urban Flood



Banjir di Jakarta, 2013

Koran Kompas



Banjir di Jakarta, 2002



Foto di Koran Kompas, 29 Maret 2009

Flash Flood, Situ Gintung 2009

Situ Gintung, Cirendeu, Ciputat, Tangerang Selatan, Banten, jebol pada 27 Maret 2009.
Korban tewas 99 orang, hilang 102 orang (data s.d. 31 Maret 2009).

Banjir dan Bencana Banjir

Banjir

- Aliran yang memiliki debit besar
 - Seberapa besar?
- Definisi banjir
 - *Flood is defined as the high stage of a river at which the stream channel gets filled up and above which it overflows its banks and inundates the adjoining areas.*

Banjir (Bencana Banjir)

- Aliran yang melebihi kapasitas tampang sungai
 - terjadi limpasan keluar badan sungai,
 - terjadi genangan di kawasan yang tidak seharusnya tergenang, dan
 - terjadi kerugian.

Banjir dan Bencana Banjir

- Dari pengertian banjir dan bencana banjir tersebut, maka
 - aliran banjir belum tentu mengakibatkan bencana banjir
 - aliran banjir yang masih berada di badan sungai
 - bukan bencana banjir
 - dapat pula menjadi bencana banjir apabila menimbulkan kerugian, walaupun aliran tidak melimpas keluar badan sungai
 - kerugian yang ditimbulkan oleh bencana banjir
 - di badan sungai (di alur sungai)
 - di luar sungai

Banjir dan Bencana Banjir



Banjir Bengawan Solo, Pati JaTeng, 2007




Groundsill Kretek di Sungai Opak, Yogyakarta, 2007

Bencana

- UU Nomor 24 Tahun 2007 tentang “Penanggulangan Bencana”
 - **Bencana** adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan baik oleh faktor alam dan/atau faktor non-alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.
 - **Bencana alam** adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah langsor.

Bencana Alam

- UU No. 24/2007 tentang “Penanggulangan Bencana”
 - Gempa bumi
 - Tsunami
 - Gunung meletus
 - Banjir
 - Kekeringan
 - Angin topan
 - Tanah longsor
- 7 jenis bencana alam
- 

Banjir Sungai

- Aliran air
- Aliran air + sedimen
 - Transpor sedimen suspensi, *suspended load*
 - Transpor sedimen dasar, *bed load*
 - Aliran air keruh, *turbidity current*
 - Aliran bersedimen konsentrasi tinggi, *hyper-concentrated suspension*
 - Aliran debris, *debris flow*, *lahar flood*
- Aliran air + polutan

Aliran Air + Sedimen

Koran Kedaulatan Rakyat



S. Rokan, Riau, 2008



S. Progo, Yogyakarta, 2010



S. Code, Yogyakarta, 2011

Aliran air di sungai dengan berbagai kuantitas kandungan sedimen

Aliran Air + Sedimen



Penampungan limbah di sebuah pabrik kimia di Ajka, Hongaria, jebol pada awal Oktober 2010

<http://www.bbc.co.uk/news/world-europe-11495540>



Banjir Sungai

Penyebab Banjir

Penyebab Bencana Banjir

- Penyebab bencana banjir
 - Kapasitas tampang sungai berkurang
 - Peningkatan debit aliran
 - Perubahan tata guna lahan di DAS
 - Bencana alam
 - Kegagalan fungsi struktur pengendali banjir

Penyebab Bencana Banjir (1/5)

- Kapasitas tampang sungai berkurang
 - Pendangkalan dasar sungai
 - Sedimentasi
 - Penciutan alur sungai
 - Hambatan di alur utama (bendung, jembatan, gorong-gorong, dsb)
 - Hambatan di bantaran sungai (rumah, dermaga, krib)
 - Penutupan muara sungai
 - Lidah pasir di muara
 - Pasang air laut

Penyebab Bencana Banjir (2/5)

- Peningkatan debit sungai
 - Hujan bertambah besar atau lama
 - Perubahan klimatologis yang mengakibatkan peningkatan intensitas hujan
 - Respon DAS terhadap hujan berubah
 - Peningkatan volume aliran permukaan
 - Hujan bertambah cepat sampai ke sungai

Penyebab Bencana Banjir (3/5)

- Perubahan tata guna lahan di DAS
 - Bantaran sungai berkurang
 - Perubahan fungsi bantaran sungai
 - Dataran banjir berkurang
 - Kawasan retensi banjir berubah fungsi
 - Land subsidence
 - Penurunan muka tanah

Penyebab Bencana Banjir (4/5)

- Bencana alam
 - Erupsi gunung vulkanik
 - Peningkatan debit sedimen
 - Tsunami
 - Gelombang dan pasang air laut
 - Tanah longsor
 - Suplai sedimen yang besar dalam waktu singkat

Penyebab Bencana Banjir (5/5)

- Kegagalan fungsi bangunan pengendali banjir sungai
 - Tanggul atau bendungan jebol
 - Pintu air tak berfungsi
 - Pompa air macet

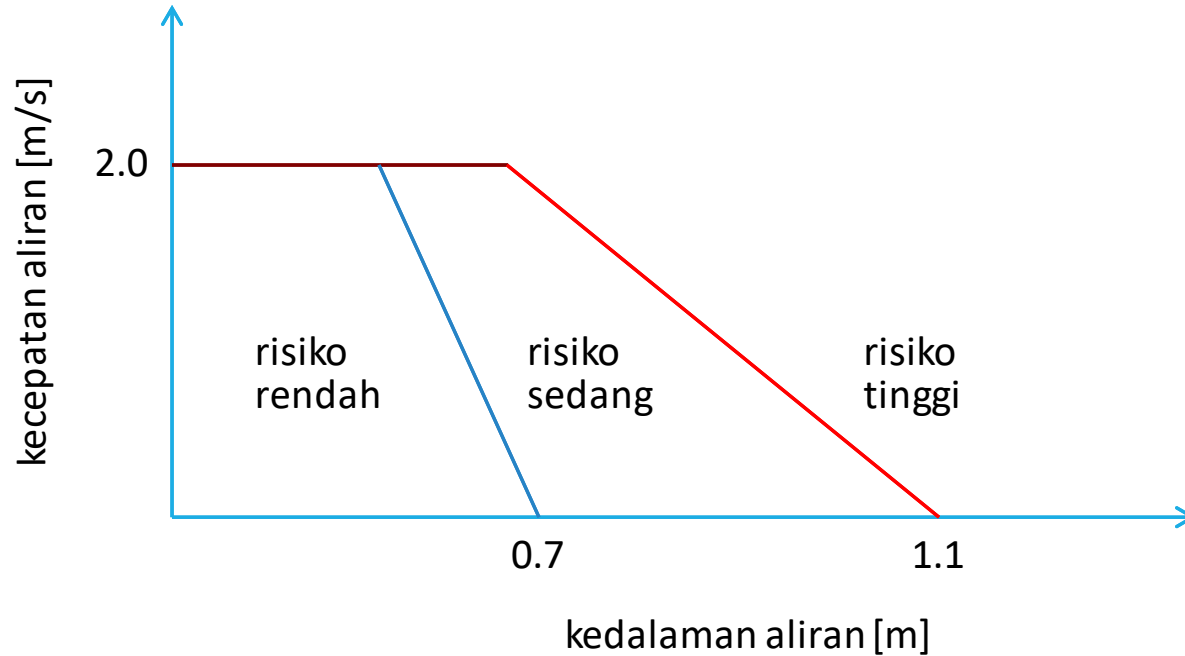
Banjir Sungai

Pengendalian Banjir

Pengendalian Banjir

- Tujuan
 - Penurunan tingkat risiko ancaman terhadap jiwa manusia dan harta benda akibat banjir sampai ke tingkat toleransi
 - Meminimumkan dampak bencana banjir (mitigasi bencana banjir)

Tingkat Risiko Bencana Banjir



Mitigasi Bencana Banjir

- Struktural
 - Mengandalkan struktur/bangunan hidraulik pengendali banjir
- Non-struktural
 - Tanpa struktur/bangunan

Mitigasi Bencana Banjir

Non-structural flood mitigation measures

- *Land-use management*
- *Property acquisition and floodway clearance*
- *Modification of catchment conditions and on-site storage*
- *Flood forecasting and warning (FEWS)*
- *Public information and education*
- *Flood proofing of buildings*
- *Evacuation from endangered areas*
- *Flood fighting*
- *Flood relief*
- *Flood insurance*
- *Flood adaptation*

Struktur pengendali banjir

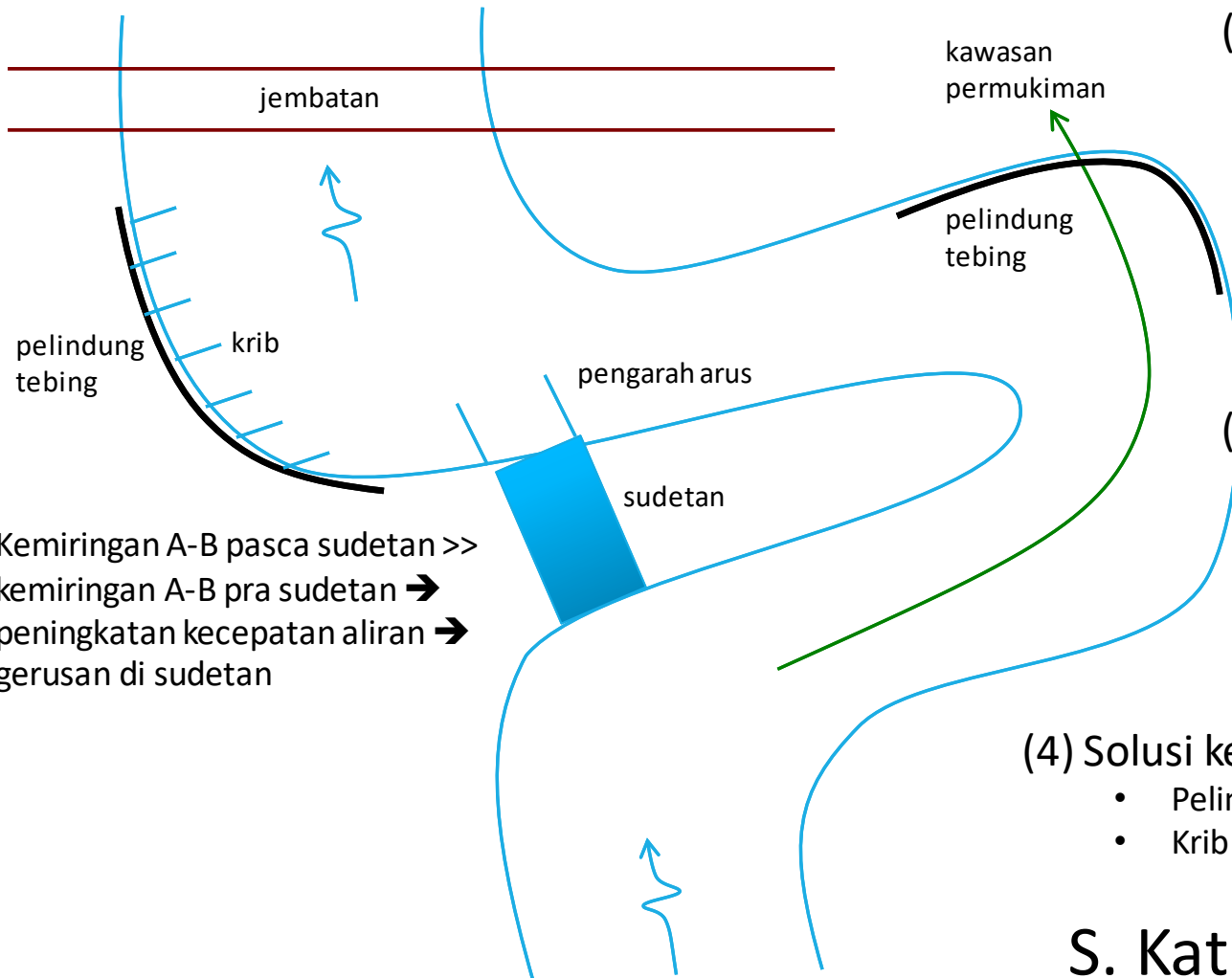
- Pengaturan dan normalisasi alur sungai
- Tanggul
- Tembok banjir (*parapet wall, flood wall*)
- Saluran *bypass*
- Kanal banjir
- Waduk penampung banjir
- Kolam retensi
- Kolam detensi
- Sistem drainase dan pompa

Faktor Pengaruh Penetapan Jenis Pengendali Banjir

- Debit banjir sungai
- Keadaan alur sungai dan DAS
- Karakteristika hidraulik sungai
- Tingkat kerugian akibat banjir
- Standar debit banjir rencana
- Akseptabilitas masyarakat

Pengaturan Alur Sungai

- Tujuan
 - Peningkatan kapasitas tampang sungai
 - Penurunan muka air banjir
- Jenis bangunan
 - Pelurusan kelokan (sudetan, *cut-off*)
 - Pelebaran atau pendalaman alur
 - Penurunan hambatan aliran (penurunan kekasaran)
 - Pengendalian alur (pengaturan arah aliran)
 - Perlindungan dasar atau tebing sungai



Kemiringan A-B pasca sudetan >>
kemiringan A-B pra sudetan →
peningkatan kecepatan aliran →
gerusan di sudetan

(1) Permasalahan awal

- Permukiman penduduk terancam

(2) Solusi awal

- Sudetan
- Pengarah arus

(3) Permasalahan ikutan pasca sudetan

- Debit meningkat
- Arah aliran berubah
- Gerusan tebing
- Ancaman thd jembatan

(4) Solusi kedua

- Pelindung tebing
- Krib

S. Katingan, KalTeng



revetment dengan
bronjong

krib permeabel berupa
tiang pancang

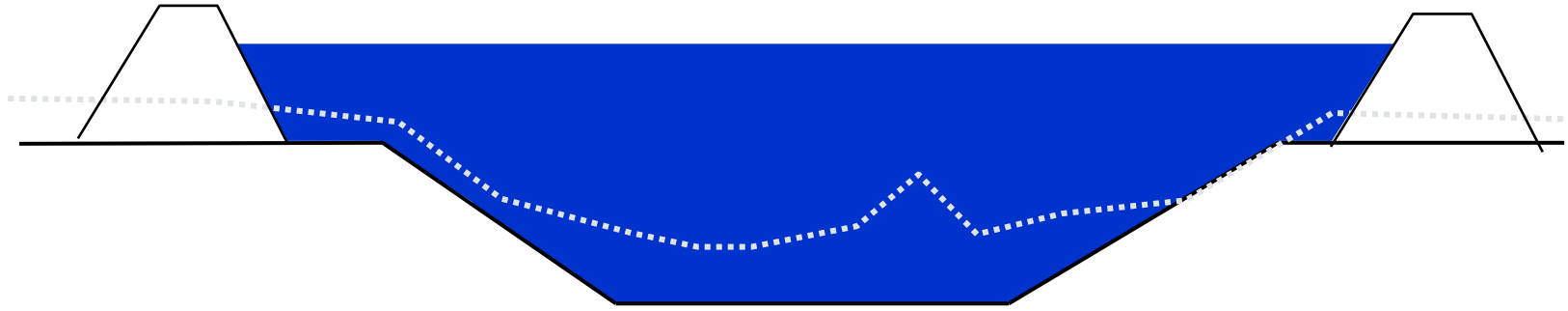


Tanggul, Tembok Banjir

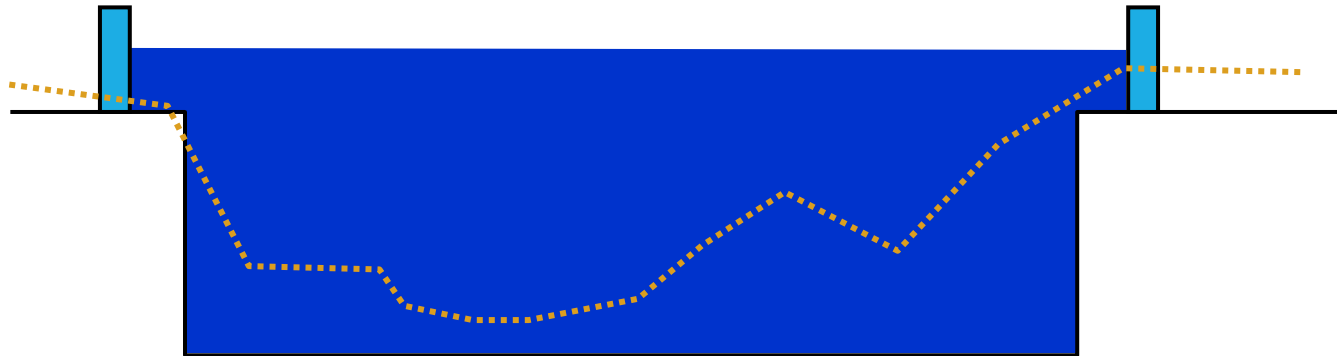
- Tujuan
 - Mencegah aliran keluar dari alur dan bantaran
- Jenis bangunan
 - Tanggul timbunan tanah
 - Tembok pasangan batu
 - Tembok beton bertulang



perbaikan alur + tanggul



perbaikan alur + tembok banjir





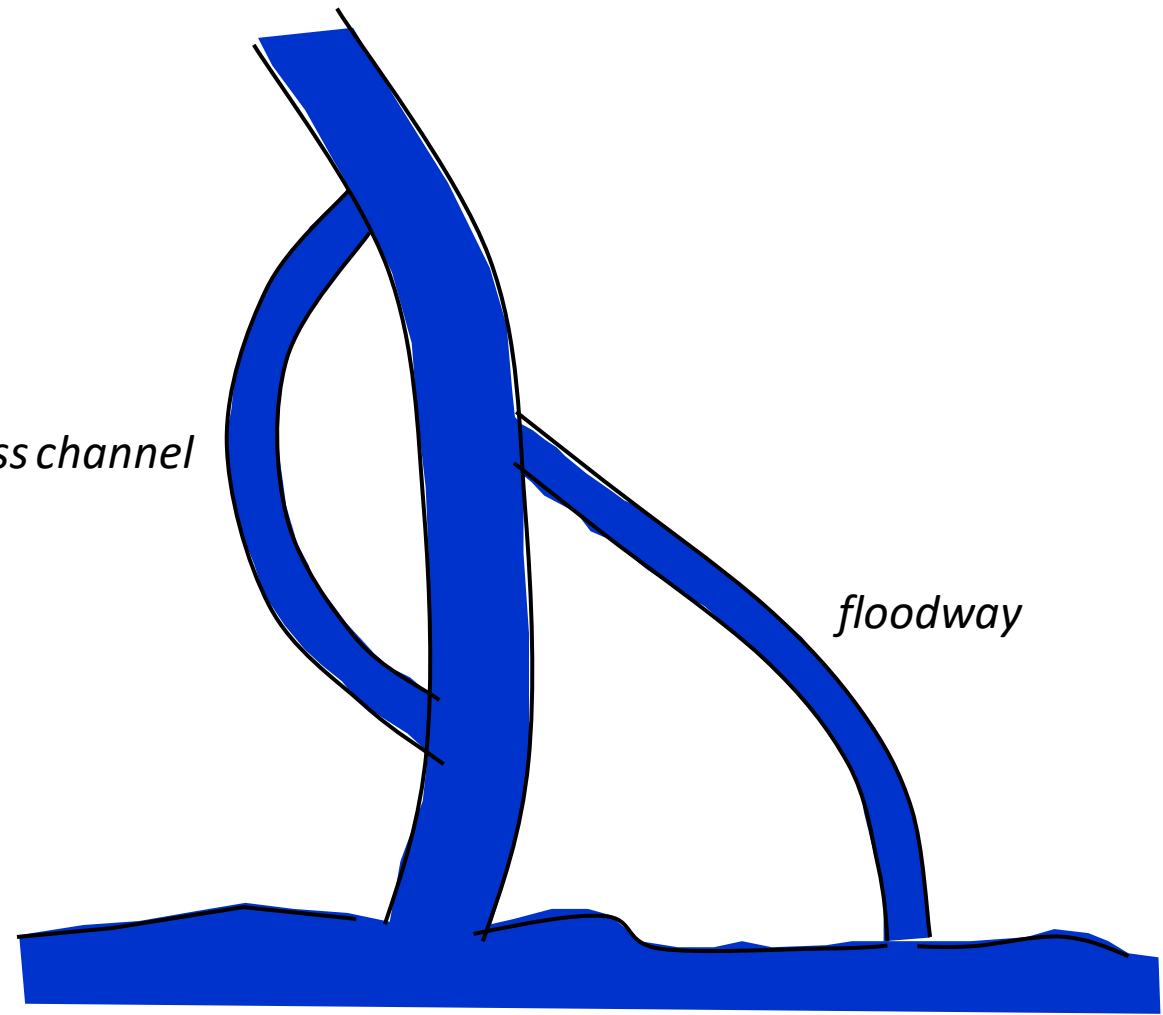
Tanggul di tepi Bengawan Solo, Kota Surakarta

Tanggul + tembok banjir di tepi Bengawan Solo, Kota Surakarta



bypass channel

floodway





→ floodway

→ bypass channel

Waduk Pengendali Banjir

- Tujuan
 - Menampung sebagian debit puncak banjir untuk sementara waktu
 - Pengaturan debit yang mengalir ke hilir sesuai dengan kapasitas tampangnya
- Jenis bangunan
 - Bendungan
 - Tanggul
 - Pelimpah

Dam Gajahmungkur Wonogiri



closure dike (under construction)

dam (bendungan)
[urugan tanah]

waduk

intake tower

plta

surge tank

intake

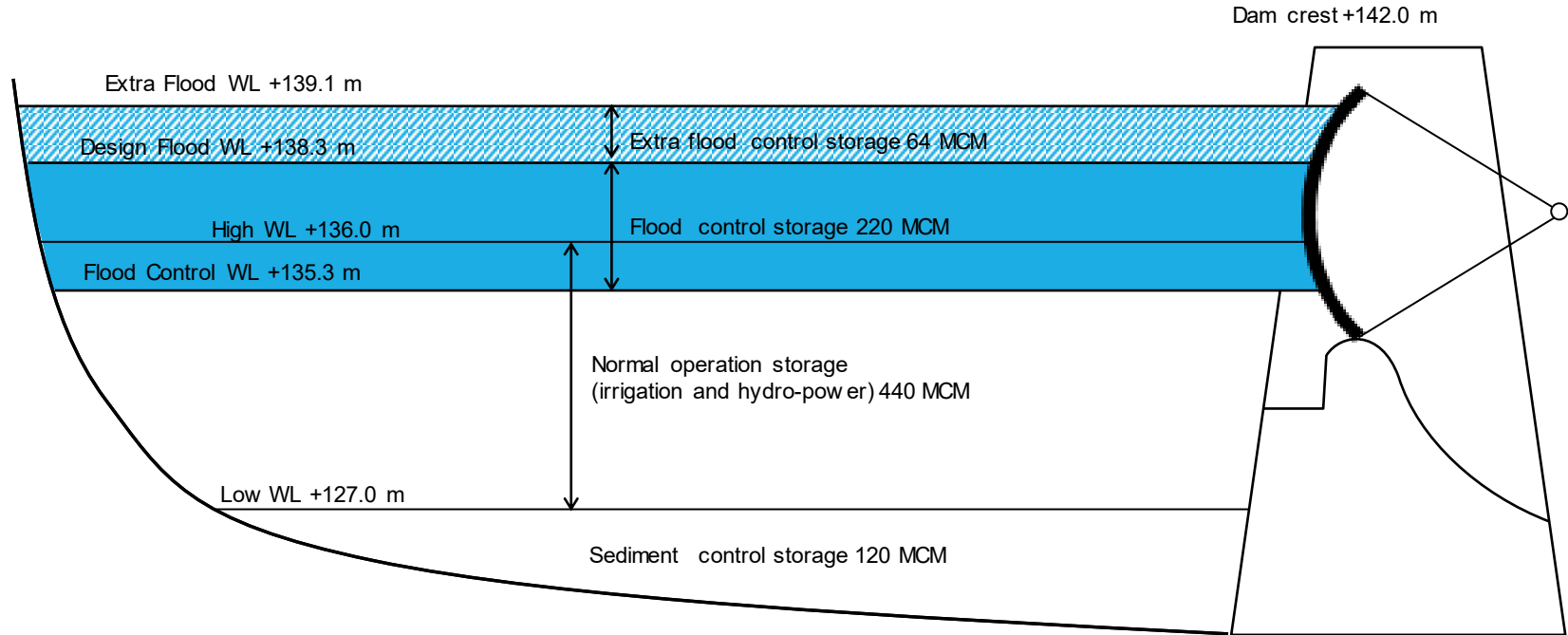
spillway

spillway

Waduk Gajahmungkur

Multi-purpose reservoir

- Irrigation
- Water supply
- Hydropower generation
- Flood control



Waduk Gajahmungkur Wonogiri



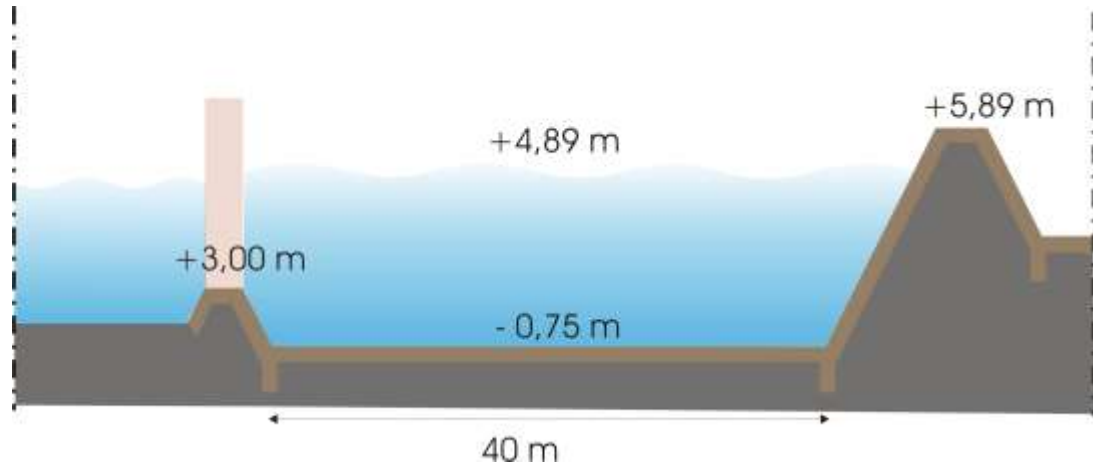
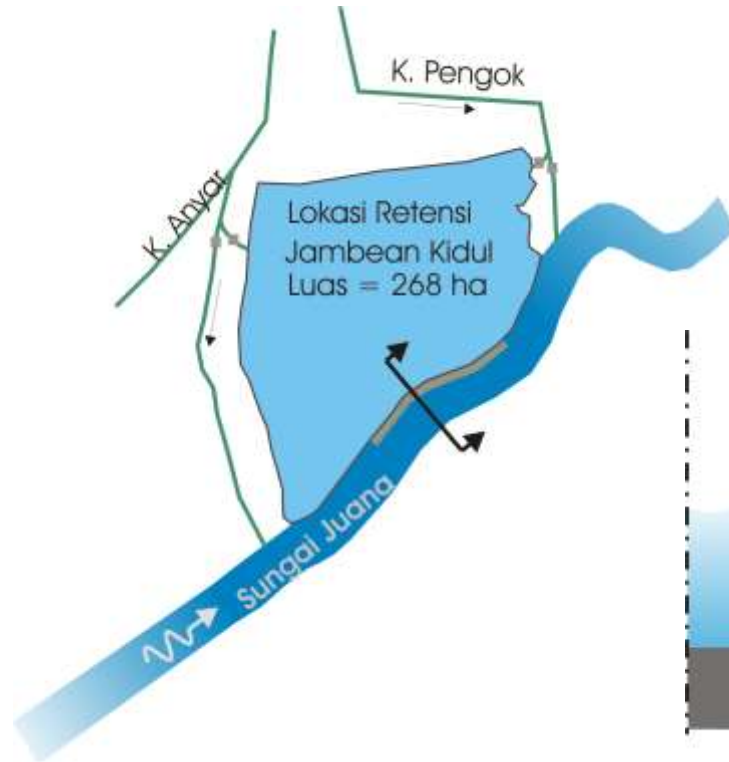
Spillway dengan empat pintu radial untuk mengendalikan banjir

Waduk Gajahmungkur Wonogiri



Spillway dengan empat pintu radial untuk mengendalikan banjir

Kawasan Retensi, Kawasan Detensi

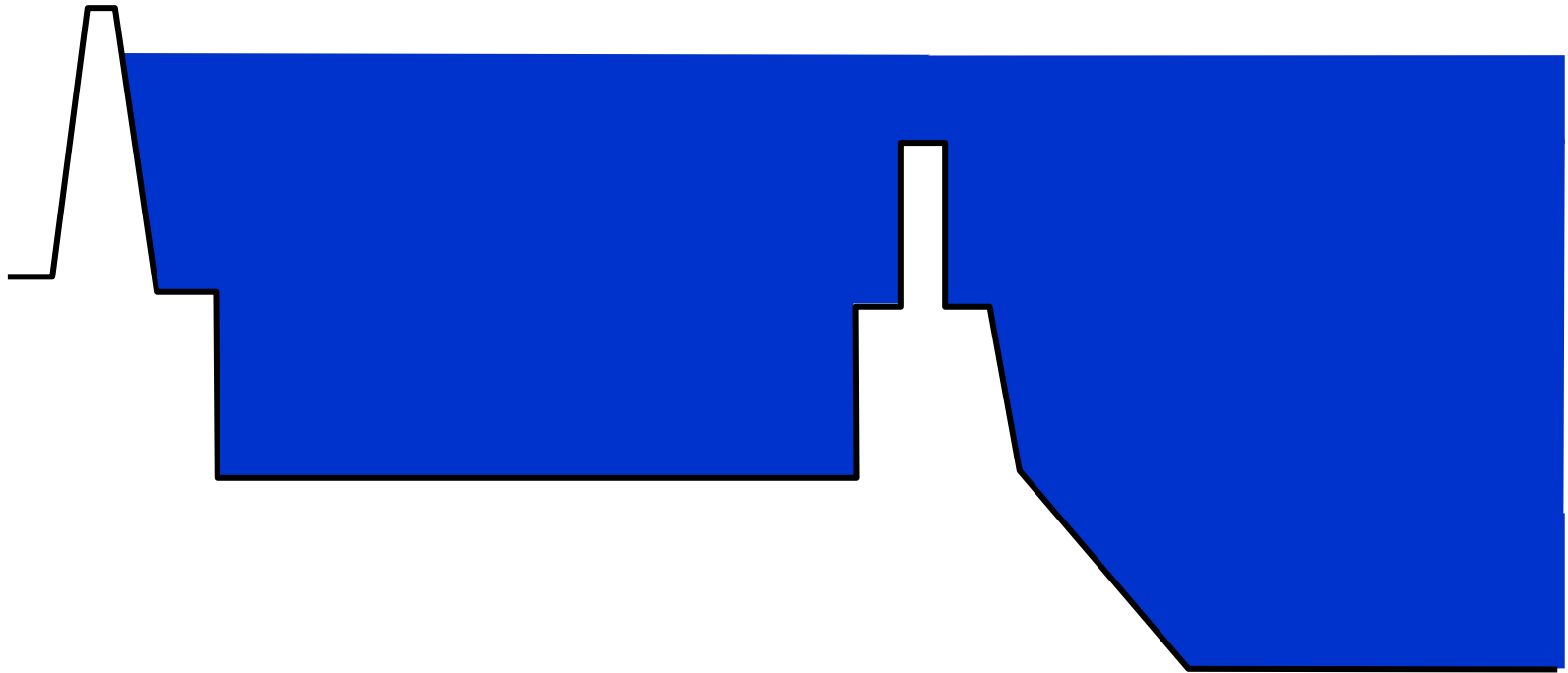


Kawasan Retensi, Kawasan Detensi



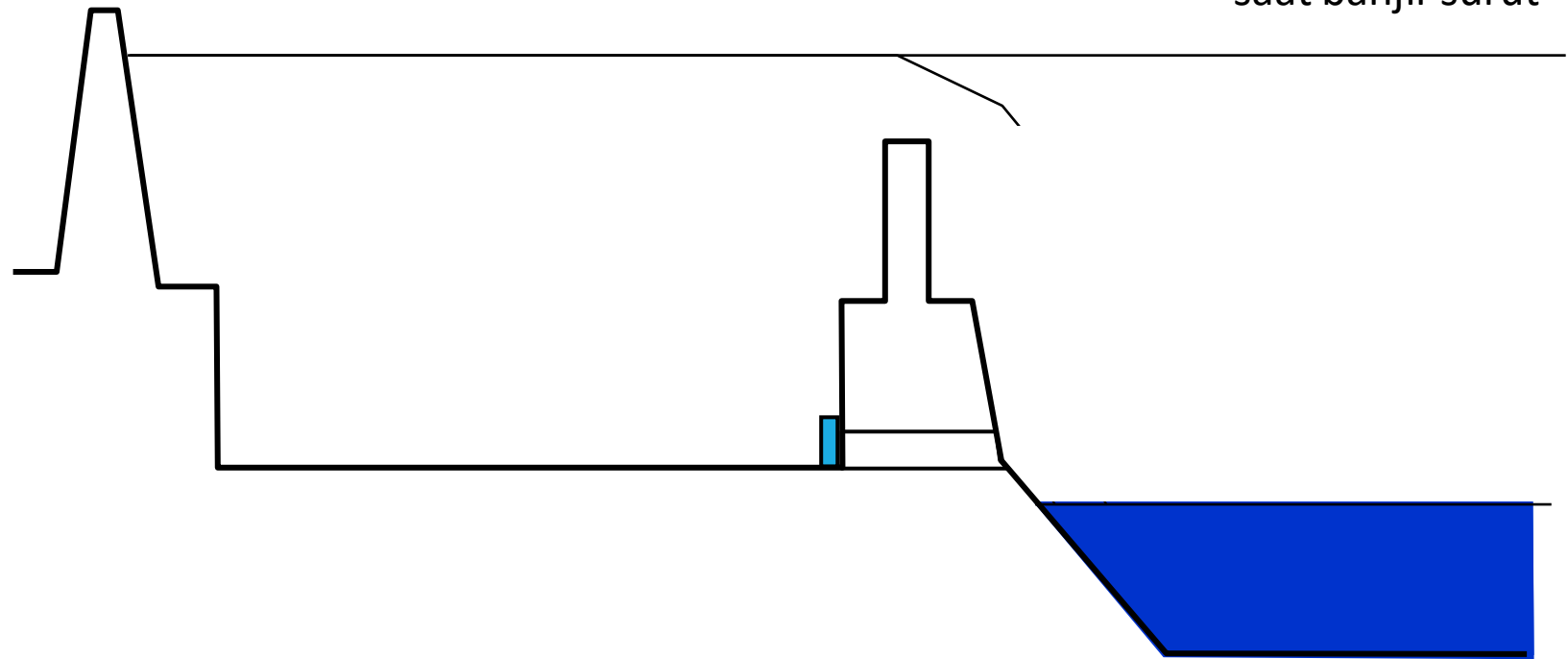
perbaikan alur +
tanggul +
kawasan retensi banjir

saat banjir datang



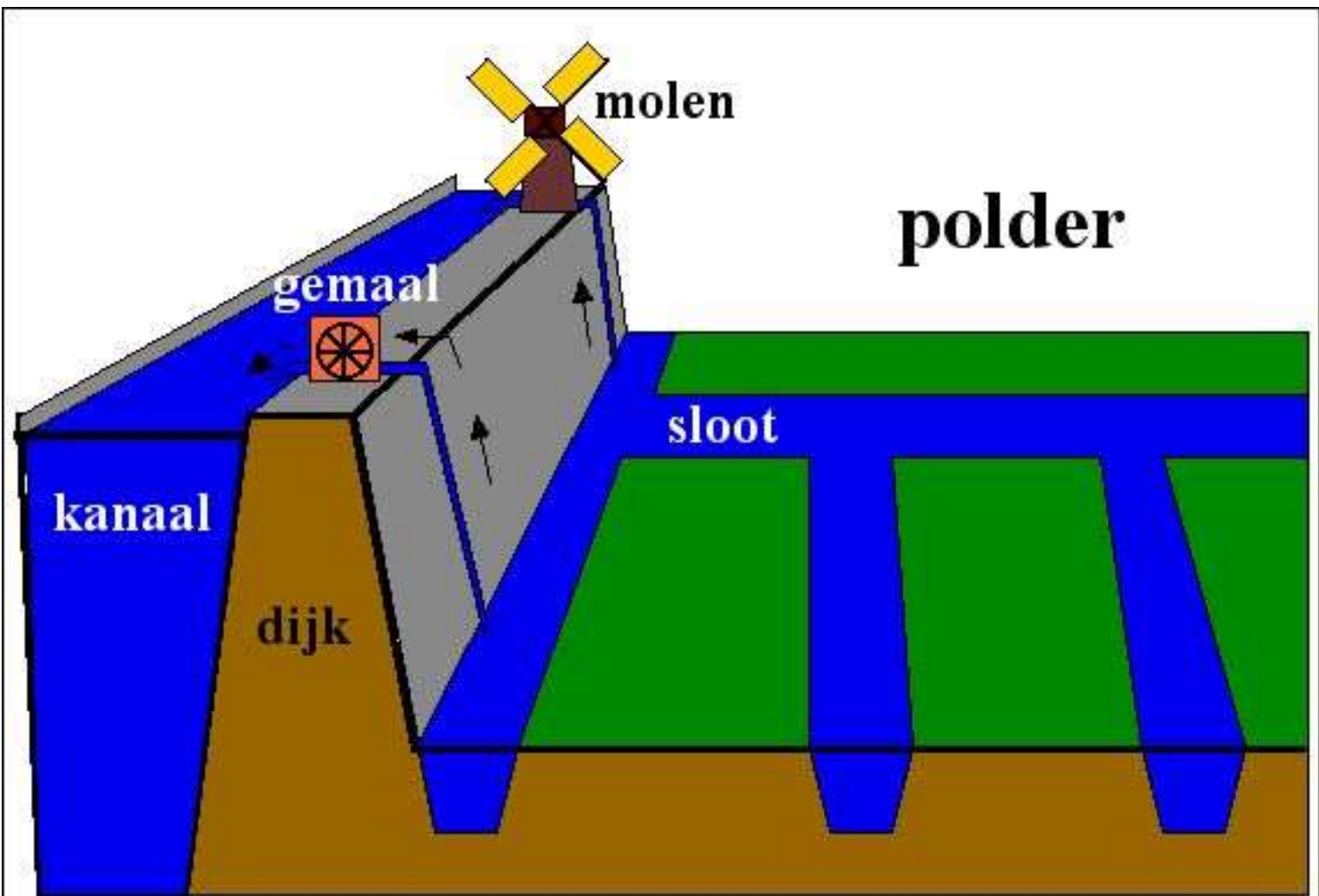
perbaikan alur +
tanggul +
kawasan retensi banjir

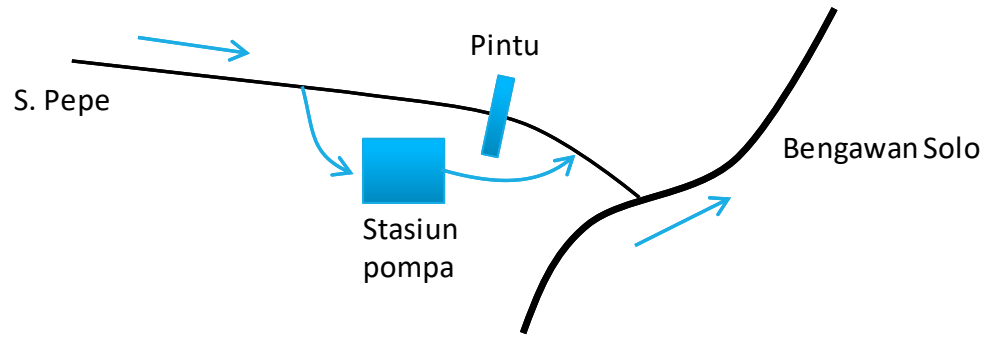
saat banjir surut



Drainase dan Pompa

- Tujuan
 - Pembuangan air berlebih dari suatu kawasan melalui jaringan saluran
 - Aliran secara gravitasi atau dipompa
- Jenis bangunan
 - Saluran (terbuka, tertutup), pipa
 - Pompa





Pintu air di Bengawan Solo



Banjir Sungai

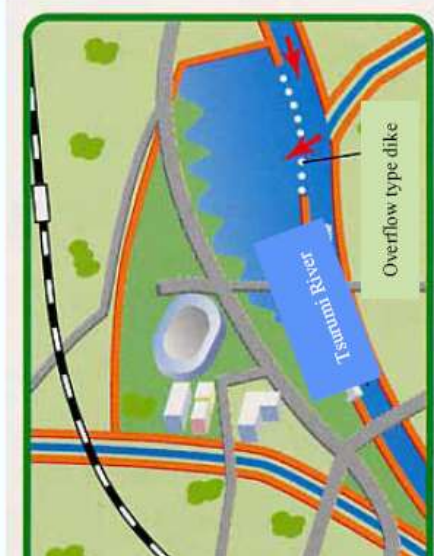
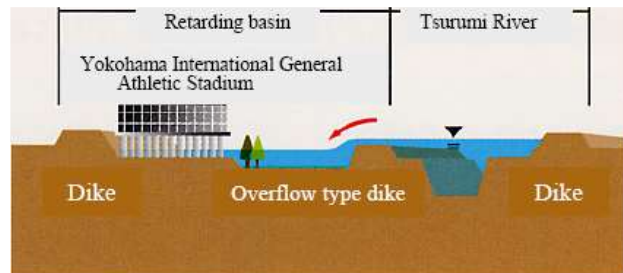
Pengendalian Banjir di Manca Negara

Tsurumigawa Multi-purpose Retarding Basin

Plan of retarding basin

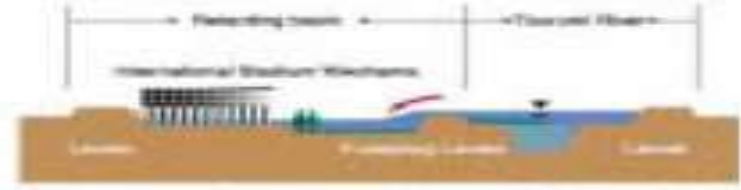


Tsurumigawa Multi-purpose Retarding Basin



Tsurumigawa Multi-purpose Retarding Basin

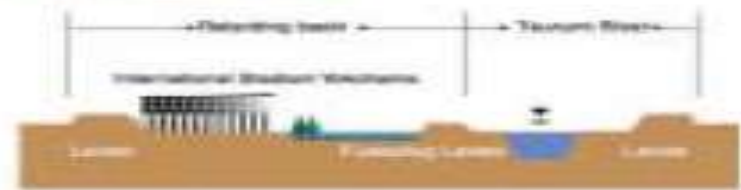
● During flooding, down river water flow is controlled



When river water increases due to flooding, the flood water will be led into the retarding basin via the lower fuseplug levee.



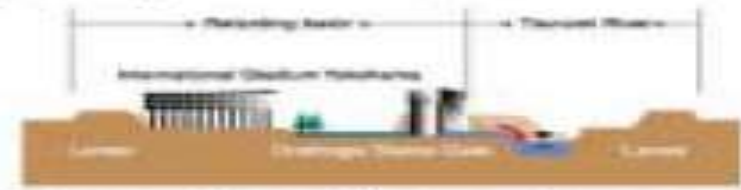
● Flood water is directed into the retarding basin via the fuseplug levee along the Tsurumi River



The flood water will be stored temporarily.



● After flooding, the stored water will be gradually returned to the river



When the river water level has lowered, the stored water will be gradually discharged through discharging gate.



Tsurumigawa Multi-purpose Retarding Basin

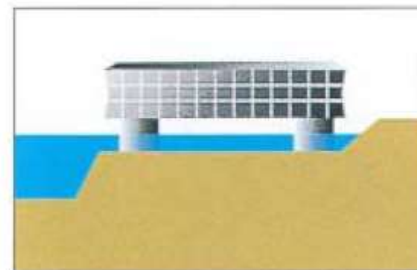
Multipurpose retarding basin



The Yokohama International Sports Stadium

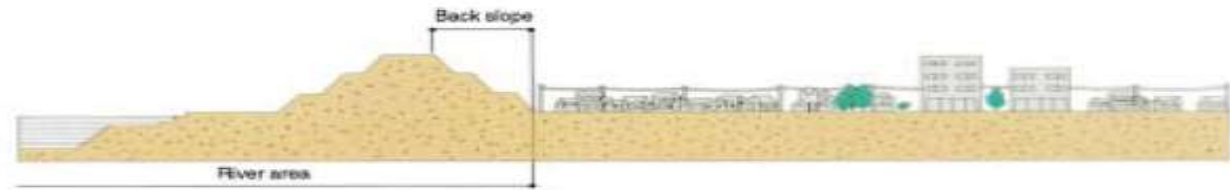


In order to avoid hindering flood control capacity, the piloti method (elevated-floor style) has been incorporated in the construction of the Yokohama International Sports Stadium.

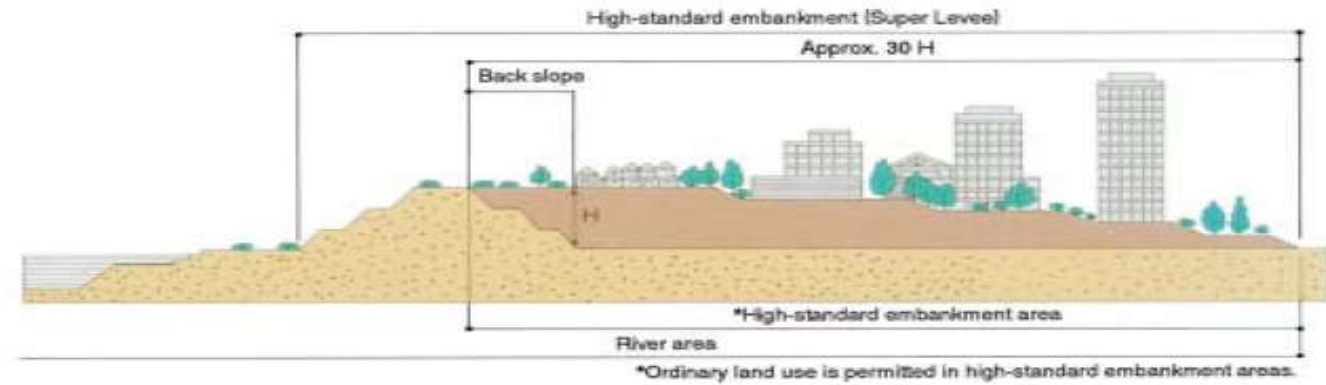


Super Levee

Before Construction of Super Levee



After Construction of Super Levee



Underground Floodways



■ Construction of underground floodways and underground regulating reservoirs is an effective means of solving the problem of urban flooding.

Thames Flood Barrier



http://cdn.londonreconnections.com/assets/Thames_Barrier_underspill_512.jpg



http://www.thetimes.co.uk/tto/multimedia/archive/00413/10788995_Barrier_413378c.jpg

Thames Flood Barrier



Maeslant Storm Surge Barrier, Netherland



<http://www.infopuntveiligheid.nl/Afbeeldingen/media/Vitale%20sectoren/R17-Maeslantkering.jpg>



http://img-fotki.yandex.ru/get/6428/210117598.30/0_a9d7a_f9f509ac_orig

Maeslant Storm Surge Barrier, Netherland



Three Gorges Dam, China



http://2.bp.blogspot.com/-jER089Tu_PM/T6FjrXOZKJI/AAAAAAAAA0o/kvSc8fjCc90/s1600/6.png

Three Gorges Dam, China



Fig. 3. Artist's impression of the completed dam showing the ship lift and ship lock on the righthand side of the picture

- Tujuan utama
 - Pengendalian banjir
- Dam
 - Concrete gravity dam
 - Tinggi 183 m
 - Panjang 2.3 km
- PLTA
 - 14x700 MW (kiri)
 - 12x700 MW (kanan)
- Spillway
 - $Q_{PMF} 102,500 \text{ m}^3/\text{s}$
- Ship locks
 - 5 buah
 - Barge 10,000 T dlm 3 jam
- Ship lift
 - 1 buah
 - Kapal penumpang dan kapal kecil s.d. 3,000 T dlm 30 menit

Banjir Sungai

Penelusuran Banjir

Penelusuran Banjir (*Flood Routing*)

■ Hidrologi

- Perubahan debit aliran dari hulu ke hilir
 - Waduk
 - Sungai
- Metode
 - Muskingum

■ Hidraulika

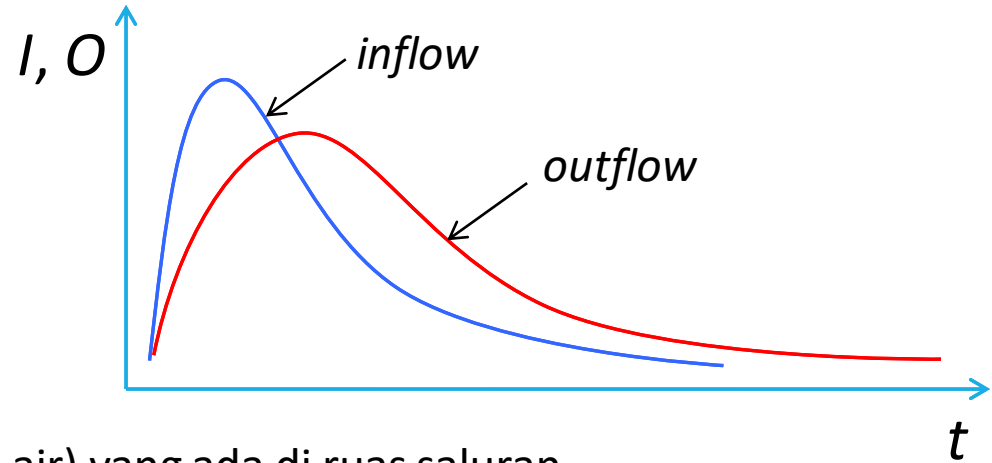
- Perubahan muka air dan kecepatan aliran dari hulu ke hilir
 - Sungai
 - Waduk
 - Struktur hidraulik
- Metode
 - Persamaan Saint-Venant

Penelusuran Banjir Hidrologi

Metode Muskingum

$$S = k\{Ix + (1 - x)O\}$$

$$I - O = \frac{dS}{dt}$$



S adalah tampungan air (volume air) yang ada di ruas saluran

I adalah *inflow* rerata yang masuk ke ruas saluran

O adalah *outflow* rerata yang keluar dari ruas saluran

t adalah selang waktu

Penelusuran Banjir Hidraulika

Persamaan aliran di sungai (1D)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_{\ell} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$



Diselesaikan secara numeris
(bukan eksak)

- FDA
- FEM
- FVM



model matematis

Banjir Sungai

Model Matematis Penelusuran Banjir

Prosedur Pemodelan Aliran

1

- Penyiapan fasilitas

2

- Peniruan geometri sungai

3

- Peniruan parameter aliran

4

- Hitungan hidraulika (kecepatan dan kedalaman aliran)

5

- Presentasi hasil hitungan

6

- Interpretasi hasil hitungan

Model Aliran di Sungai

- HEC-RAS
 - Hydrologic Engineering Center – River Analysis System
 - US Army Corps of Engineers (USACE)
- HEC-RAS
 - Gratis
 - Dapat diunduh dari <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>
 - Sangat disarankan untuk dipakai melakukan simulasi aliran di sungai
- Modul pembelajaran memakai HEC-RAS
 - Dapat diunduh dari <http://istiarto.staff.ugm.ac.id/index.php/hecras/modul-hecras/>

Terima kasih