

## PERENCANAAN BANGUNAN UTAMA (BENDUNG)

### DIKLAT TEKNIS PERENCANAAN IRIGASI

#### TINGKAT DASAR



2016

PUSAT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN SUMBER DAYA AIR DAN KONSTRUKSI



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT  
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA  
PUSAT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN SUMBER DAYA AIR DAN KONSTRUKSI  
Jalan Abdul Hamid Cicaheum Bandung 40193 Telp. (022) 7206892, Fax (022) 7232938, Email :pusdiklatsdadankonstruksi@yahoo.com

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya validasi dan penyempurnaan Perencanaan Bangunan Utama ( Bendung ) sebagai Materi Substansi dalam Diklat Teknis Perencanaan Irigasi Tingkat Dasar. Modul ini disusun untuk memenuhi kebutuhan kompetensi dasar Aparatur Sipil Negara (ASN) di bidang Sumber Daya Air (SDA).

Modul Perencanaan Bangunan Utama ( Bendung ) disusun dalam 5 (lima) bab yang terbagi atas Pendahuluan, Materi Pokok, dan Penutup. Penyusunan modul yang sistematis diharapkan mampu mempermudah peserta pelatihan dalam memahami Perencanaan Bangunan Utama ( Bendung ) dalam Perencana irigasi. Penekanan orientasi pembelajaran pada modul ini lebih menonjolkan partisipasi aktif dari para peserta.

Akhirnya, ucapan terima kasih dan penghargaan kami sampaikan kepada Tim Penyusun dan Narasumber Validasi, sehingga modul ini dapat diselesaikan dengan baik. Penyempurnaan maupun perubahan modul di masa mendatang senantiasa terbuka dan dimungkinkan mengingat akan perkembangan situasi, kebijakan dan peraturan yang terus menerus terjadi. Semoga Modul ini dapat memberikan manfaat bagi peningkatan kompetensi ASN di bidang SDA.

Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan

Sumber Daya Air dan Konstruksi

Dr.Ir. Suprpto, M.Eng

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR TABEL .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL .....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	I-1
1.1 Latar Belakang .....	I-1
1.2 Deskripsi Singkat.....	I-1
1.3 Tujuan Pembelajaran .....	I-1
1.3.1 Kompetensi Dasar .....	I-1
1.3.2 Indikator Keberhasilan .....	I-2
1.4 Materi Pokok .....	I-2
1.5 Estimasi Waktu.....	I-2
BAB II PENETAPAN JENIS BANGUNAN UTAMA (BENDUNG) .....	II-1
2.1 Umum .....	II-1
2.2 Evaluasi Lokasi Penempatan Bendung .....	II-2
2.2.1 Umum.....	II-2
2.2.2 Syarat-syarat Penentuan Lokasi Bendung .....	II-2
2.2.3 Faktor lain .....	II-17
2.3 Memeriksa Lokasi Penempatan Analisis .....	II-19
2.3.1 Data Perencanaan .....	II-19
2.3.2 Data kebutuhan air multisektor .....	II-21
2.3.3 Data Topografi .....	II-21
2.3.4 Data Hidrologi .....	II-22
2.3.5 Data Morfologi .....	II-25
2.3.6 Data Geologi Teknik .....	II-26
2.3.7 Muka Air .....	II-27
2.4 Penetapan Bentuk, Jenis dan Materila Bendung .....	II-27
2.4.1 Jenis-jenis Bangunan Utama .....	II-27

2.4.2	Bagian-bagian Bangunan Utama .....	II-31
2.5	Latihan .....	II-37
2.6	Rangkuman.....	II-37
<b>BAB III PERANCANGAN PRA-DESAIN BANGUNAN UTAMA (BENDUNG).....</b>		<b>III-1</b>
3.1	Merancang Desain Bendung .....	III-1
3.1.1	Bendung Pelimpah.....	III-1
3.2	Analisis Kontrol Stabilitas Tubuh Bendung .....	III-17
3.2.1	Tekanan air.....	III-17
3.2.2	Tekanan lumpur .....	III-19
3.2.3	Gaya gempa .....	III-20
3.2.4	Berat bangunan .....	III-20
3.2.5	Reaksi Pondasi.....	III-21
3.3	Kebutuhan Stabilitas .....	III-22
3.3.1	Ketahanan terhadap gelincir .....	III-23
3.3.2	Guling .....	III-25
3.3.3	Stabilitas terhadap erosi bawah tanah (pipng).....	III-26
3.4	Bangunan Pelengkap Bendung .....	III-30
3.4.1	Bangunan Pengambilan.....	III-31
3.4.2	Pembilas.....	III-37
3.4.3	Bangunan pembilas .....	III-41
3.4.4	Kantong Lumpur .....	III-46
3.5	Bangunan Pelindung (Bangunan Perkuatan Sungai).....	III-53
3.6	Latihan .....	III-53
3.7	Rangkuman.....	III-53
<b>BAB IV PENETAPAN DESAIN BANGUNAN UTAMA (BENDUNG).....</b>		<b>IV-1</b>
4.1	Uji Model Pra Design Bangunan Utama .....	IV-1
4.2	Penyempurnaan Desain Bangunan Utama .....	IV-3
4.3	Penetapan Desain Definitif Bangunan Utama.....	IV-4
4.4	Latihan .....	IV-4
4.5	Rangkuman.....	IV-4
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>V-1</b>
5.1	Simpulan .....	V-1
5.2	Tindak Lanjut.....	V-3

DAFTAR PUSTAKA..... X  
GLOSARIUM..... xii

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> - Harga-harga koefisien $K_a$ dan $K_p$ .....	III-3
<b>Tabel 3.2</b> - Harga-harga $K$ dan $n$ .....	III-9
<b>Tabel 3.3</b> - Harga-harga $\xi$ .....	III-19
<b>Tabel 3.4</b> - Harga-harga perkiraan untuk koefisien gesekan .....	III-24
<b>Tabel 3.5</b> - Harga-harga minimum angka rembesan Lane ( $C_L$ ) .....	III-28

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar II.1</b> - Ruas – ruas sungai .....	II-11
<b>Gambar II.2</b> - Akibat banjir lahar .....	II-12
<b>Gambar II.3</b> - Agradasi dan degradasi .....	II-12
<b>Gambar II.4</b> - Pengaruh rintangan (cek) alamiah .....	II-14
<b>Gambar II.5</b> - Terbentuknya delta .....	II-14
<b>Gambar II.6</b> - Morfologi sungai .....	II-15
<b>Gambar II.7</b> - Sungai bermeander dan terowongan .....	II-16
<b>Gambar II.8</b> - Metode pelaksanaan alternatif .....	II-18
<b>Gambar II.9</b> - Bangunan Utama .....	II-31
<b>Gambar II.10</b> - Denah dan potongan melintang bendung gerak dan potongan melintang bendung saringan bawah .....	II-33
<b>Gambar II.11</b> - Bangunan pengambilan dan pembilas .....	II-35
<b>Gambar III.1</b> - Lebar efektif mercu .....	III-2
<b>Gambar III.2</b> - Bentuk-bentuk mercu .....	III-3
<b>Gambar III.3</b> - Tekanan pada mercu bendung bulat sebagai fungsi perbandingan $H_1/r$ .....	III-4
<b>Gambar III.4</b> - Harga-harga koefisien $C_0$ untuk bendung ambang bulat sebagai fungsi perbandingan $H_1/r$ .....	III-6
<b>Gambar III.5</b> - Koefisien $C_1$ sebagai fungsi perbandingan $p/H_1$ .....	III-6
<b>Gambar III.6</b> - Harga-harga koefisien $C_2$ untuk bendung mercu tipe Ogee dengan muka hulu melengkung (menurut USBR, 1960) .....	III-7
<b>Gambar III.7</b> - Faktor pengurangan aliran tenggelam sebagai fungsi $H_2/H_1$ .....	III-7
<b>Gambar III.8</b> - Bentuk-bentuk bendung mercu Ogee (U.S.Army Corps of Engineers, Waterways Experimental Stasion) .....	III-8

<b>Gambar III.9</b> - Faktor koreksi untuk selain tinggi energi rencana pada bendung mercu Ogee (menurut Ven Te Chow, 1959, berdasarkan data USBR dan WES) .....	III-10
<b>Gambar III.10</b> - Faktor pengurangan aliran tenggelam sebagai fungsi $p_2/H_1$ dan $H_2/H_1$ . (Disadur dari US Army Corps of Engineers Waterways Experimental Station) .....	III-11
<b>Gambar III.11</b> - Harga-harga $C_v$ sebagai fungsi perbandingan luas $\alpha_1 C_d A^*/A_1$ untuk bagian pengontrol segi empat (dari Bos, 1977) .....	III-12
<b>Gambar III.12</b> - Potongan hulu dan tampak depan pengontrol .....	III-12
<b>Gambar III.13</b> - Peredam energi .....	III-13
<b>Gambar III.14</b> - Peredam energi tipe bak tenggelam .....	III-14
<b>Gambar III.15</b> - Jari-jari minimum bak .....	III-15
<b>Gambar III.16</b> - Batas minimum tinggi air hilir .....	III-16
<b>Gambar III.17</b> - Batas maksimum tinggi air hilir .....	III-16
<b>Gambar III.18</b> - Gaya angkat untuk bangunan yang dibangun pada pondasi buatan .....	III-19
<b>Gambar III.19</b> - Unsur-unsur persamaan distribusi tekanan pada pondasi .....	III-21
<b>Gambar III.20</b> - Tebal lantai kolam olak .....	III-26
<b>Gambar III.21</b> - Metode angka rembesan Lane .....	III-28
<b>Gambar III.22</b> - Ujung hilir bangunan; sketsa parameter-parameter stabilitas .....	III-30
<b>Gambar III.23</b> - Bangunan pengambilan dan pembilas .....	III-32
<b>Gambar III.24</b> - Tipe pintu pengambilan .....	III-34
<b>Gambar III.25</b> - Geometri bangunan pengambilan .....	III-35
<b>Gambar III.26</b> - Bentuk-bentuk jeruji kisi-kisi penyaring dan harga-harga $\beta$ .....	III-36
<b>Gambar III.27</b> - Geometri pembilas .....	III-37

<b>Gambar III.28</b> - Pembilas samping .....	III-39
<b>Gambar III.29</b> - Metode menemukan tinggi dinding pemisah .....	III-40
<b>Gambar III.30</b> - Tipe-tipe pintu pengambilan: pintu sorong kayu dan baja .....	III-41
<b>Gambar III.31</b> - Pintu pengambilan tipe radial .....	III-41
<b>Gambar III.32</b> - Pembilas bawah .....	III-43
<b>Gambar III.33</b> - Pusaran (vortex) dan kantong udara di bawah penutup atas saluran pembilas bawah .....	III-44
<b>Gambar III.34</b> - tipe pintu bilas .....	III-45
<b>Gambar III.35</b> - erasi pintu sorong yang terendam .....	III-46
<b>Gambar III.36</b> - Konsentrasi sedimen ke arah vertikal .....	III-48
<b>Gambar III.37</b> - Tipe tata letak kantong lumpur .....	III-49
<b>Gambar III.38</b> - Skema kantong lumpur .....	III-50
<b>Gambar III.39</b> - Hubungan antara diameter saringan dan kecepatan endap untuk air tenang .....	III-52

## **PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL**

### **Deskripsi**

Mata Diklat ini membahas tentang konsep dasar Pra Rencana Bangunan Utama yang meliputi Penetapan Jenis Bangunan Utama, Perancangan Pra Design Bangunan Utama, Penetapan Design Bangunan Utama.

Peserta diklat mempelajari keseluruhan modul ini dengan cara yang berurutan. Pemahaman setiap materi pada modul ini diperlukan untuk memahami perencanaan bangunan utama (bendung). Setiap kegiatan belajar dilengkapi dengan latihan/simulasi atau evaluasi yang menjadi alat ukur tingkat penguasaan peserta diklat setelah mempelajari materi dalam modul ini

### **Persyaratan**

Dalam mempelajari perencanaan bangunan utam (bendung) ini peserta diklat dilengkapi dengan modul bahan ajar dan metode dan media lainnya yang dibutuhkan.

### **Metode**

Dalam pelaksanaan pembelajaran ini, metode yang dipergunakan adalah dengan kegiatan pemaparan yang dilakukan oleh Widyaiswara/Fasilitator, adanya kesempatan tanya jawab, curah pendapat, bahkan diskusi

### **Alat Bantu/Media**

Untuk menunjang tercapainya tujuan pembelajaran ini, diperlukan Alat Bantu/Media pembelajaran tertentu, yaitu: LCD/projector, Laptop, white board dengan spidol dan penghapusnya, bahan tayang, serta modul dan/atau bahan ajar.

### **Kompetensi Dasar**

Setelah selesai pembelajaran peserta diharapkan mampu memahami konsep dasar Pra Rencana Bangunan Utama yang meliputi Data Rencana Bendung, Bangunan Bendung, Perencanaan Hidrolis, Perencanaan Bangunan Pengambilan dan Perencanaan Bangunan Pembila yang disajikan dengan cara ceramah dan tanya jawab.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bangunan utama dapat didefinisikan sebagai semua bangunan yang direncanakan di sepanjang sungai atau aliran air untuk membelokkan air ke dalam jaringan saluran irigasi agar dapat dipakai untuk keperluan irigasi, biasanya dilengkapi dengan kantong lumpur agar bias menurangi kandungan sedimen yang berlebihan serta memungkinkan untuk mengukur air yang masuk.

Kriteria, praktek – praktek yang dianjurkan, pedoman peserta metode –metode perencanaan bangunan utama ini sah untuk semua bangunan yang beda tinggi energinya (muka air hulu terhadap muka air hilir) tidak lebihn dari 6 m. untuk bangunan – bangunan ini diandaikan bahwa luas pembuang sungai kurang dari 500 Km dan bahwa debit maksimum pengambilan adalah 25 m/dt. Batasan ini dipilih karena mencangkup bangunan utama yang dapat direncanakan berdasarkan kriteria.

Untuk bangunan – bangunan yang diluar ruang lingkup ini, diperlukan nasihat – nasihat ahli. Juga untuk bangunan – bangunan yang dicakup dalam standa ii jika diperkirakan akan timbul masalah – masalah khusus, maka diperlukan konsultasi dengan ahli –ahli yang bersangkutan.

### 1.2 Deskripsi Singkat

Mata Diklat ini membahas tentang konsep dasar Pra Rencana Bangunan Utama yang meliputi Penetapan Jenis Bangunan Utama, Perancangan Pra Design Bangunan Utama, Penetapan Design Bangunan Utama.

### 1.3 Tujuan Pembelajaran

#### 1.3.1 Kompetensi Dasar

Setelah selesai pembelajaran peserta diharapkan mampu memahami konsep dasar Pra Rencana Bangunan Utama yang meliputi Data Rencana Bendung, Bangunan Bendung, Perencanaan Hidrolis, Perencanaan Bangunan

Pengambilan dan Perencanaan Bangunan Pembila yang disajikan dengan cara ceramah dan tanya jawab

### **1.3.2 Indikator Keberhasilan**

Setelah pembelajaran ini, peserta dapat menjelaskan :

- a) Penetapan Jenis Bangunan Utama ( Bendung)
- b) Perancangan Pra-Desaign Bangunan Utama (Bendung)
- c) Penetapan Desain Bangunan Utama (Bendung)

### **1.4 Materi Pokok**

- a) Penetapan Jenis Bangunan Utama ( Bendung)
- b) Perancangan Pra-Desaign Bangunan Utama (Bendung)
- c) Penetapan Desain Bangunan Utama (Bendung)

### **1.5 Estimasi Waktu**

Alokasi waktu yang diberikan untuk pelaksanaan kegiatan belajar mengajar untuk mata diklat “Perencanaan Bangunan Utama (Bendung)” ini adalah 14 (empat belas) jam pelajaran (JP) atau sekitar 630 menit.

## BAB II

### PENETAPAN JENIS BANGUNAN UTAMA (BENDUNG)

*Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta diharapkan mampu menjelaskan mengenai penetapan jenis bangunan utama (bendung)*

#### 2.1 Umum

Bangunan utama dapat didefinisikan sebagai: “semua bangunan yang direncanakan di sungai atau aliran air untuk membelokkan air ke dalam jaringan irigasi, biasanya dilengkapi dengan kantong lumpur agar bisa mengurangi kandungan sedimen yang berlebihan serta memungkinkan untuk mengukur dan mengatur air yang masuk”.

Pengaliran air dari sumber air berupa sungai atau danau ke jaringan irigasi untuk keperluan irigasi pertanian, pasokan air baku dan keperluan lainnya yang memerlukan suatu bangunan disebut dengan bangunan utama.

Untuk kepentingan keseimbangan lingkungan dan kebutuhan daerah di hilir bangunan utama, maka aliran air sungai tidak diperbolehkan disadap seluruhnya. Namun harus tetap dialirkan sejumlah 5% dari debit yang ada.

Salah satu bangunan utama yang mempunyai fungsi membelokkan air dan menampung air disebut bendungan, yang kriteria perencanaannya tidak tercakup dalam kriteria ini.

Kriteria perencanaan bendungan dan bangunan pelengkap lainnya akan dipersiapkan secara terpisah oleh institusi yang berwenang. Terdapat 6 (enam) bangunan utama yang sudah pernah atau sering dibangun di Indonesia, antara lain:

- 1) Bendung Tetap
- 2) Bendung Gerak Vertikal
- 3) Bendung Karet (bendung gerak horizontal)
- 4) Bendung Saringan Bawah
- 5) Bendung Pengambilan Bebas
- 6) Bendung Tipe Gergaji

## 2.2 Evaluasi Lokasi Penempatan Bendung

Lokasi penempatan bendung dievaluasi berdasarkan kondisi tanah dan fungsinya dengan teliti.

### 2.2.1 Umum

Lokasi bangunan bendung dan pemilihan tipe yang paling cocok dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu:

- (a) Tipe, bentuk dan morfologi sungai
- (b) Kondisi hidrolis antara lain elevasi yang diperlukan untuk irigasi
- (c) Topografi pada lokasi yang direncanakan,
- (d) Kondisi geologi teknik pada lokasi,
- (e) Metode pelaksanaan
- (f) Aksesibilitas dan tingkat pelayanan

Faktor-faktor yang disebutkan di atas akan dibicarakan dalam pasal-pasal berikut. Pasal terakhir akan memberikan tipe-tipe bangunan yang cocok untuk digunakan sebagai bangunan bendung dalam kondisi yang berbeda-beda.

### 2.2.2 Syarat-syarat Penentuan Lokasi Bendung

Aspek yang mempengaruhi dalam pemilihan lokasi bendung adalah:

- (a) Pertimbangan topografi
- (b) Kemantapan geoteknik fondasi bendung
- (c) Pengaruh hidraulik
- (d) Pengaruh regime sungai
- (e) Tingkat kesulitan saluran induk
- (f) Ruang untuk bangunan pelengkap bendung
- (g) Luas layanan irigasi
- (h) Luas daerah tangkapan air
- (i) Tingkat kemudahan pencapaian
- (j) Biaya pembangunan
- (k) Kesepakatan stakeholder

(a) Pertimbangan topografi

Lembah sungai yang sempit berbentuk huruf V dan tidak terlalu dalam adalah lokasi yang ideal untuk lokasi bendung, karena pada lokasi ini volume tubuh bendung dapat menjadi minimal. Lokasi seperti ini mudah didapatkan pada daerah pegunungan, tetapi di daerah datar dekat pantai tentu tidak mudah mendapatkan bentuk lembah seperti ini. Di daerah transisi (middle reach) kadang-kadang dapat ditemukan disebelah hulu kaki bukit. Sekali ditemukan lokasi yang secara topografis ideal untuk lokasi bendung, keadaan topografi di daerah tangkapan air juga perlu dicek. Apakah topografinya terjal sehingga mungkin terjadi longsor atau tidak. Topografi juga harus dikaitkan dengan karakter hidrograf banjir, yang akan mempengaruhi kinerja bendung. Demikian juga topografi pada daerah calon sawah harus dicek. Yang paling dominan adalah pengamatan elevasi hamparan tertinggi yang harus diiri. Analisa ketersediaan selisih tinggi energi antara elevasi puncak bendung pada lokasi terpilih dan elevasi muka air pada sawah tertinggi dengan keperluan energi untuk membawa air ke sawah tersebut akan menentukan tinggi rendahnya bendung yang diperlukan. Atau kalau perlu menggeser ke hulu atau ke hilir dari lokasi yang sementara terpilih. Hal ini dilakukan mengingat tinggi bendung sebaiknya dibatasi 6-7 m. Bendung yang lebih tinggi akan memerlukan kolam olak ganda (double jump)

(b) Kemantapan geoteknik

Keadaan geoteknik fondasi bendung harus terdiri dari formasi batuan yang baik dan mantap. Pada tanah aluvial kemantapan fondasi ditunjukkan dengan angka standar penetration test (SPT)>40. Bila angka SPT<40 sedang batuan keras jauh dibawah permukaan, dalam batas-batas tertentu dapat dibangun bendung dengan tiang pancang. Namun kalau tiang pancang terlalu dalam dan mahal sebaiknya dipertimbangkan pindah lokasi.

Stratigrafi batuan lebih disukai menunjukkan lapisan miring ke arah hulu. Kemiringan ke arah hilir akan mudah terjadinya kebocoran dan erosi buluh. Sesar tanah aktif harus secara mutlak dihindari, sesar tanah pasif masih

dapat dipertimbangkan tergantung justifikasi ekonomis untuk melakukan perbaikan fondasi.

Geoteknik tebing kanan dan kiri bendung juga harus dipertimbangkan terhadap kemungkinan bocornya air melewati sisi kanan dan kiri bendung. Formasi batuan hilir kolam harus dicek ketahanan terhadap gerusan air akibat energi sisa air yang tidak bisa dihancurkan dalam kolam olak.

Akhirnya muara dari pertimbangan geoteknik ini adalah daya dukung fondasi bendung dan kemungkinan terjadi erosi buluh dibawah dan samping tubuh bendung, serta ketahanan batuan terhadap gerusan.

(c) Pengaruh Hidraulik

Keadaan hidraulik yang paling ideal bila ditemukan lokasi bendung pada sungai yang lurus. Pada lokasi ini arah aliran sejajar, sedikit arus turbulen, dan kecenderungan gerusan dan endapan tebing kiri kanan relatif sedikit. Dalam keadaan terpaksa, bila tidak ditemukan bagian yang lurus, dapat ditolerir lokasi bendung tidak pada bagian sungai yang lurus betul. Perhatian khusus harus diberikan pada posisi bangunan pengambilan yang harus terletak pada tikungan luar sungai. Hal ini dimaksudkan agar pengambilan air irigasi bisa lancar masuk ke intake dengan mencegah adanya endapan didepan pintu pengambilan. Maksud ini akan lebih ditunjang apabila terdapat bagian sungai yang lurus pada hulu lokasi bendung.

Kadang-kadang dijumpai keadaan yang dilematis. Semua syarat-syarat pemilihan lokasi bendung sudah terpenuhi, tetapi syarat hidraulik yang kurang menguntungkan. Dalam keadaan demikian dapat diambil jalan kompromi dengan membangun bendung pada kopur atau melakukan perbaikan hidraulik dengan cara perbaikan sungai (river training). Kalau alternatif kopur yang dipilih maka bagian hulu bendung pada kopur harus lurus dan cukup panjang untuk mendapatkan keadaan hidraulis yang cukup baik.

(d) Pengaruh regime sungai

Regime sungai mempunyai pengaruh yang cukup dominan dalam pemilihan lokasi bendung. Salah satu gambaran karakter regime sungai yaitu adanya perubahan geometri sungai baik secara horizontal ke kiri dan ke kanan atau secara vertikal akibat gerusan dan endapan sungai. Bendung di daerah pegunungan dimana kemiringan sungai cukup besar, akan terjadi kecenderungan gerusan akibat gaya seret aliran sungai yang cukup besar. Sebaliknya di daerah dataran dimana kemiringan sungai relatif kecil akan ada pelepasan sedimen yang dibawa air menjadi endapan tinggi di sekitar bendung. Jadi dimanapun kita memilih lokasi bendung tidak akan terlepas dari pengaruh endapan atau gerusan sungai. Kecuali di pegunungan ditemukan lokasi bendung dengan dasar sungai dari batuan yang cukup kuat, sehingga mempunyai daya tahan batuan terhadap gerusan air yang sangat besar, maka regime sungai hampir tidak mempunyai pengaruh terhadap lokasi bendung.

Yang perlu dihindari adalah lokasi dimana terjadi perubahan kemiringan sungai yang mendadak, karena ditempat ini akan terjadi endapan atau gerusan yang tinggi. Perubahan kemiringan dari besar menjadi kecil akan mengurangi gaya seret air dan akan terjadi pelepasan sedimen yang dibawa air dari hulu. Dan sebaliknya perubahan kemiringan dari kecil ke besar akan mengakibatkan gerusan pada hilir bendung. Meskipun keduanya dapat diatasi dengan rekayasa hidraulik, tetapi hal yang demikian tidak disukai mengingat memerlukan biaya yang tinggi.

Untuk itu disarankan memilih lokasi yang relatif tidak ada perubahan kemiringan sungai.

(e) Tingkat kesulitan saluran induk

Lokasi bendung akan membawa akibat arah trace saluran induk. Pada saat lokasi bendung dipilih dikaki bukit, maka saluran induk biasanya berupa saluran kontur pada kaki bukit yang pelaksanaannya tidak terlalu sulit. Namun hal ini biasanya elevasi puncak bendung sangat terbatas, sehingga

luas layanan irigasi juga terbatas. Hal ini disebabkan karena tinggi bendung dibatasi 6-7 m saja.

Untuk mengejar ketinggian dalam rangka mendapatkan luas layanan yang lebih luas, biasanya lokasi bendung digeser ke hulu. Dalam keadaan demikian saluran induk harus menyusuri tebing terjal dengan galian yang cukup tinggi. Sejauh galian lebih kecil 8 m dan timbunan lebih kecil 6 m, maka pembuatan saluran induk tidak terlalu sulit. Namun yang harus diperhatikan adalah formasi batuan di lereng dimana saluran induk itu terletak. Batuan dalam volume besar dan digali dengan teknik peledakan akan mengakibatkan biaya yang sangat mahal, dan sebisa mungkin dihindari. Kalau dijumpai hal yang demikian, lokasi bendung digeser sedikit ke hilir untuk mendapatkan solusi yang kompromistis antara luas area yang didapat dan kemudahan pembuatan saluran induk.

(f) Ruang untuk bangunan pelengkap bendung

Meskipun dijelaskan dalam butir 1 bahwa lembah sempit adalah pertimbangan topografis yang paling ideal, tetapi juga harus dipertimbangkan tentang perlunya ruangan untuk keperluan bangunan pelengkap bendung. Bangunan tersebut adalah kolam pengendap, bangunan kantor dan gudang, bangunan rumah penjaga pintu, saluran penguras lumpur, dan komplek pintu penguras, serta bangunan pengukur debit. Kolam pengendap dan saluran penguras biasanya memerlukan panjang 300-500 m dengan lebar 40-60 m, diluar tubuh bendung. Lahan tambahan diperlukan untuk satu kantor, satu gudang dan 2-3 rumah penjaga bendung. Pengalaman selama ini sebuah rumah penjaga bendung tidak memadai, karena penghuni tunggal akan terasa jenuh dan cenderung meninggalkan lokasi.

(g) Luas layanan irigasi

Lokasi bendung harus dipilih sedemikian sehingga luas layanan irigasi agar pengembangan irigasi dapat layak. Lokasi bendung kearah hulu akan mendapatkan luas layanan lebih besar bendung cenderung dihilirnya. Namun demikian justifikasi dilakukan untuk mengecek hubungan antara

tinggi luas layanan irigasi. Beberapa bendung yang sudah definitip, kadangkadangkang dijumpai penurunan 1 m, yang dapat menghemat biaya pembangunan hanya mengakibatkan pengurangan luas beberapa puluh Ha saja. Oleh karena itu kajian tentang kombinasi tinggi bendung dan luas layanan irigasi perlu dicermati sebelum diambil keputusan final.

(h) Luas daerah tangkapan air

Pada sungai bercabang lokasi bendung harus dipilih sebelah hulu atau hilir cabang anak sungai. Pemilihan sebelah hilir akan mendapatkan daerah tangkapan air yang lebih besar, dan tentunya akan mendapatkan debit andalan lebih besar, yang muaranya akan mendapatkan potensi irigasi lebih besar. Namun pada saat banjir elevasi dekster harus tinggi untuk menampung banjir 100 tahunan ditambah tinggi jagaan (free board) atau menampung debit 1000 tahunan tanpa tinggi jagaan.

Lokasi di hulu anak cabang sungai akan mendapatkan debit andalan dan debit banjir relatif kecil, namun harus membuat bangunan silang sungai untuk membawa air di hilirnya. Kajian teknis, ekonomis, dan sosial harus dilakukan dalam memilih lokasi bendung terkait dengan luas daerah tangkapan air.

(i) Tingkat kemudahan pencapaian

Setelah lokasi bendung ditetapkan secara definitip, akan dilanjutkan tahap perencanaan detail, sebagai dokumen untuk pelaksanaan implementasinya. Dalam tahap pelaksanaan inilah dipertimbangkan tingkat kemudahan pencapaian dalam rangka mobilisasi alat dan bahan serta demobilisasi setelah selesai pelaksanaan fisik.

Memasuki tahap operasi dan pemeliharaan bendung, tingkat kemudahan pencapaian juga amat penting. Kegiatan pemeliharaan, rehabilitasi, dan inspeksi terhadap kerusakan bendung memerlukan jalan masuk yang memadai untuk kelancaran pekerjaan.

Atas dasar pertimbangan tersebut maka dalam menetapkan lokasi bendung harus dipertimbangkan tingkat kemudahan pencapaian lokasi.

(j) Biaya pembangunan

Dalam pemilihan lokasi bendung, perlu adanya pertimbangan pemilihan beberapa alternatif, dengan memperhatikan adanya faktor dominan. Faktor dominan tersebut ada yang saling memperkuat dan ada yang saling melemahkan. Dari beberapa alternatif tersebut selanjutnya dipertimbangkan metode pelaksanaannya serta pertimbangan lainnya antara lain dari segi O & P. Hal ini antara lain akan menentukan besarnya biaya pembangunan. Biasanya biaya pembangunan ini adalah pertimbangan terakhir untuk dapat memastikan lokasi bendung dan layak dilaksanakan.

(k) Kesepakatan pemangku kepentingan

Sesuai amanat dalam UU No. 7/2004 tentang Sumberdaya Air dan Peraturan Pemerintah No. 20/2006 tentang Irigasi bahwa keputusan penting dalam pengembangan sumberdaya air atau irigasi harus didasarkan kesepakatan pemangku kepentingan lewat konsultasi publik. Untuk itu keputusan mengenai lokasi bendungpun harus dilakukan lewat konsultasi publik, dengan menyampaikan seluas-luasnya mengenai alternatif-alternatif lokasi, tinjauan dari aspek teknis, ekonomis, dan sosial. Keuntungan dan kerugiannya, dampak terhadap para pemakai air di hilir bendung, keterpaduan antar sektor, prospek pemakaian air di masa datang harus disampaikan pada pemangku kepentingan terutama masyarakat tani yang akan memanfaatkan air irigasi

Rekomendasi syarat pemilihan lokasi bendung sebagai berikut:

- 1) Topografi : dipilih lembah sempit dan tidak terlalu dalam dengan mempertimbangkan topografi di daerah tangkapan air maupun daerah layanan irigasi
- 2) Geoteknik : dipilih dasar sungai yang mempunyai daya dukung kuat, stratigrafi lapisan batuan miring ke arah hulu, tidak ada sesar aktif, tidak ada erosi buluh, dan dasar sungai hilir bendung tahan terhadap gerusan air. Disamping itu diusahakan keadaan batuan tebing kanan dan kiri

bendung cukup kuat dan stabil serta relatif tidak terdapat bocoran samping.

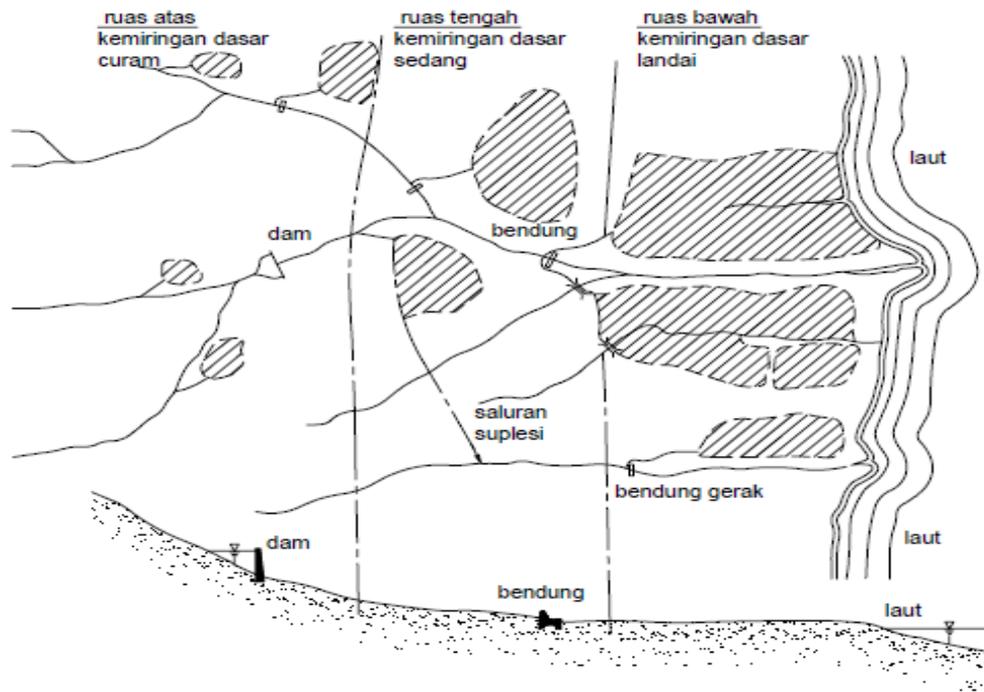
- 3) Hidraulik : dipilih bagian sungai yang lurus. Jika bagian sungai lurus tidak didapatkan, lokasi bendung ditolerir pada belokan sungai; dengan syarat posisi bangunan intake harus terletak pada tikungan luar dan terdapat bagian sungai yang lurus di hulu bendung. Kalau yang terakhir inipun tidak terpenuhi perlu dipertimbangkan pembuatan bendung di kopur atau dilakukan rekayasa perbaikan sungai (river training).
- 4) Regime sungai : Hindari lokasi bendung pada bagian sungai dimana terjadi perubahan kemiringan sungai secara mendadak, dan hindari bagian sungai dengan belokan tajam. Pilih bagian sungai yang lurus mempunyai kemiringan relatif tetap sepanjang penggal tertentu.
- 5) Saluran induk : Pilih lokasi bendung sedemikian sehingga pembangunan saluran induk dekat bendung tidak terlalu sulit dan tidak terlalu mahal. Hindari trace saluran menyusuri tebing terjal apalagi berbatu. Usahakan ketinggian galian tebing pada saluran induk kurang dari 8 m dan ketinggian timbunan kurang dari 6 m.
- 6) Ruang untuk bangunan pelengkap : Lokasi bendung harus dapat menyediakan ruangan untuk bangunan pelengkap bendung, utamanya untuk kolam pengendap dan saluran penguras dengan panjang dan lebar masing-masing kurang lebih 300 – 500 m dan 40 – 60 m.
- 7) Luas layanan irigasi : Lokasi bendung harus sedemikian sehingga dapat memberikan luas layanan yang memadai terkait dengan kelayakan sistem irigasi. Elaborasi tinggi bendung (yang dibatasi sampai dengan 6-7 m), menggeser lokasi bendung ke hulu atau ke hilir, serta luas layanan irigasi harus dilakukan untuk menemukan kombinasi yang paling optimal.
- 8) Luas daerah tangkapan air : Lokasi bendung harus dipilih dengan mempertimbangkan luas daerah tangkapan, terkait dengan debit andalan yang didapat dan debit banjir yang mungkin terjadi menghantam bendung. Hal ini harus dikaitkan dengan luas layanan yang didapat dan ketinggian lantai layanan dan pembangunan bangunan melintang anak sungai (kalau ada).

- 9) Pencapaian mudah : Lokasi bendung harus refatif mudah dicapai untuk keperluan mobilisasi alat dan bahan saat pembangunan fisik maupun operasi dan pemeliharaan. Kemudahan melakukan inspeksi oleh aparat pemerintah juga harus dipertimbangkan masak-masak.
- 10) Biaya pembangunan yang efisien : dari berbagai alternatif lokasi bendung dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang dominan, akhirnya dipilih lokasi bendung yang beaya konstruksinya minimal tetapi memberikan ouput yang optimal.
- 11) Kesepakatan stakeholder : apapun keputusannya, yang penting adalah kesepakatan antar pemangku kepentingan lewat konsultasi publik. Untuk itu direkomendasikan melakukan sosialisasi pemilihan lokasi bendung.

Ada beberapa karakteristik sungai yang perlu dipertimbangkan agar dapat diperoleh perencanaan bangunan bendung yang baik. Beberapa di antaranya adalah: kemiringan dasar sungai, bahan-bahan dasar dan morfologi sungai Diandaikan bahwa jumlah air yang mengalir dan distribusinya dalam waktu bertahun-tahun telah dipelajari dan dianggap memadai untuk kebutuhan irigasi.

#### A. Kemiringan dasar sungai dan bahan dasar

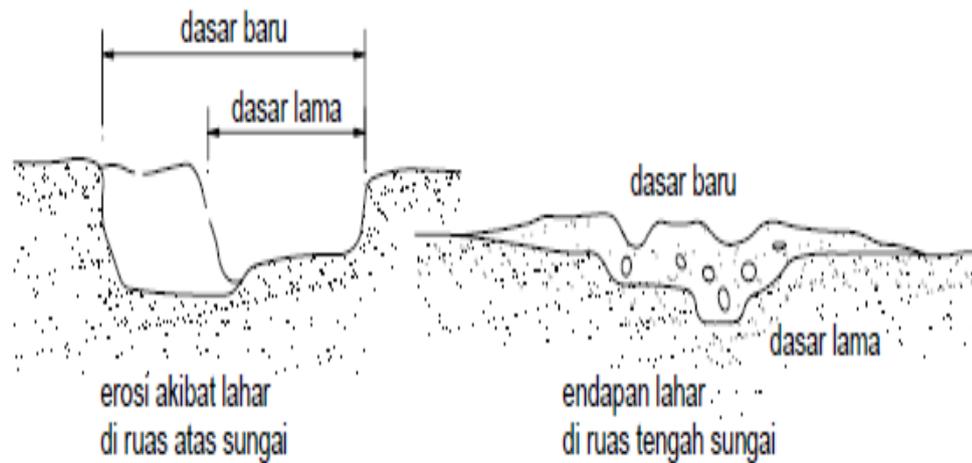
Kemiringan dasar sungai bisa bervariasi dari sangat curam sampai hampir datar di dekat laut. Dalam beberapa hal, ukuran bahan dasar akan bergantung kepada kemiringan dasar. Gambar II.1 memberikan ilustrasi berbagai bagian sungai berkenaan dengan kemiringan ini.



**Gambar II.1- Ruas – ruas sungai**

Di daerah pengunungan, kemiringan sungai curam dan bahan-bahan dasar berkisar antara batu-batu sangat besar sampai pasir. Batu berdiameter sampai 1000 mm bisa hanyut selama banjir besar dan berhenti di depan pengambilan serta mengganggu berfungsinya bangunan pengambilan.

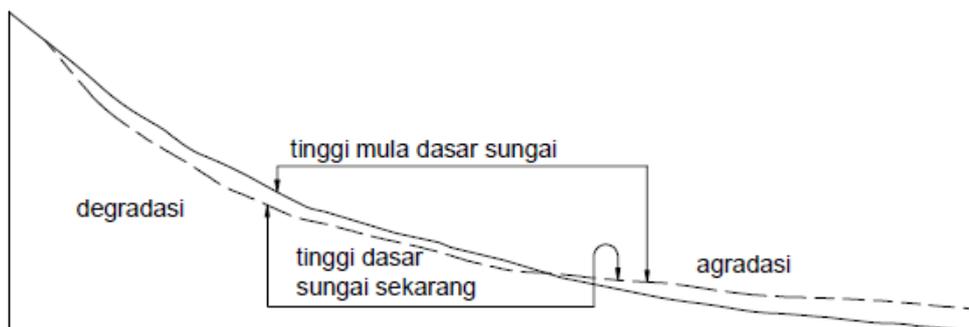
Di daerah-daerah aliran sungai di mana terdapat kegiatan gunung api, banjir besar dapat menghanyutkan endapan bahan-bahan volkanik menjadi banjir lahar. Dalam perencanaan bangunan, lahar ini tidak dapat diperhitungkan; tindakan-tindakan mencegah terjadinya banjir lahar demikian sebaiknya diambil di tempat lain



**Gambar II.2 - Akibat banjir lahar**

Selain lahar, daerah-daerah yang mengandung endapan vulkanik dapat menghasilkan bahan-bahan sedimen yang berlebihan untuk jangka waktu lama. Di daerah-daerah gunung api muda (Jawa, Sumatera dan Bali), tinggi dasar ruas-ruas sungai yang curam biasanya belum stabil dan degradasi atau aggradasi umumnya tinggi.

Kecendrungan degradasi mungkin untuk sementara waktu berbalik menjadi aggradasi, jika lebih banyak lagi sedimen masuk ke dasar sungai setelah terjadi tanah longsor atau banjir lahar di sepanjang sungai bagian atas.



**Gambar II.3 - Aggradasi dan degradasi**

Sungai-sungai yang sudah stabil dapat dijumpai di daerah-daerah gunung atau gunung api tua dan pengaruh dari gejala-gejala aggradasi atau degradasi terhadap tinggi dasar sungai tidak akan tampak sepanjang umur proyek. Gunung-gunung yang lebih tua terdapat di Kalimantan, Sulawesi

dan Irian Jaya serta di pulau-pulau lain yang lebih kecil di seluruh kepulauan Nusantara.

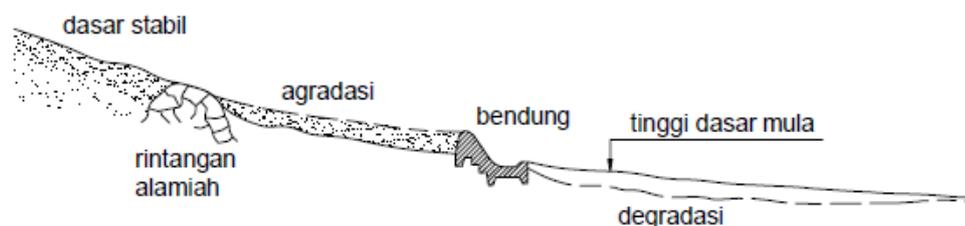
Terdapatnya batu singkapan atau rintangan alamiah berupa batu-batu besar dapat menstabilkan tinggi dasar sungai sampai beberapa kilometer di sebelah hulu; cek ini penting sehubungan dengan degradasi. Apabila di dasar sungai terdapat cek dam alamiah berupa batu besar, maka stabilitas dam tersebut selama terjadi banjir besar hendaknya diselidiki, sebab kegagalan akan berakibat degradasi yang cepat di sebelah hulu.

Kadang-kadang lapisan konglomerat sementasi merupakan cek di sungai. Lapisan-lapisan konglomerat ini rawan terhadap abrasi cepat oleh bahan-bahan sedimen keras yang bergerak di sungai. Lapisan ini dapat menghilang sebelum umur bangunan yang diharapkan lewat.

Di luar daerah pegunungan kemiringan dasar sungai akan menjadi lebih kecil dan bahan-bahan sedimen dasarnya terdiri dari pasir, kerikil dan batu kali. Potongan dasar sungai yang dalam bisa merupakan petunjuk bahwa degradasi sedang terjadi atau bahwa dasar tersebut telah mencapai tinggi yang seimbang. Hal ini hanya dapat dipastikan bila keadaan tersebut telah berlangsung lama.

Jika dasar sungai menjadi dangkal atau lebar, terisi pasir dan kerikil, maka hal ini dapat dijadikan petunjuk bahwa dasar tersebut sedang mengalami agradasi secara berangsur-angsur.

Dam atau rintangan alamiah (lihat gambar III.4) yang ada akan menjaga kestabilan dasar sungai sampai ruas tertentu, sedangkan sebelah hilir atau hulu ruas tersebut mengalami degradasi atau agradasi.



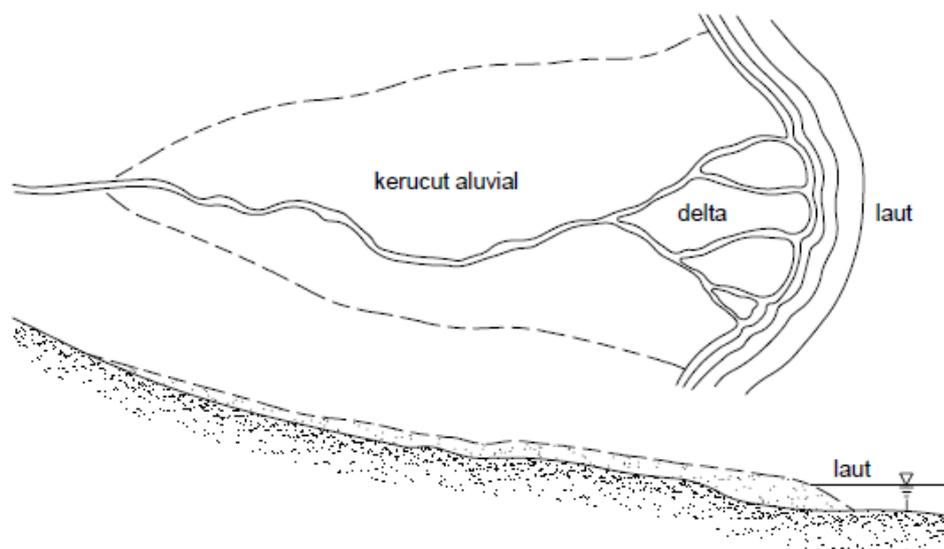
### Gambar II.4 - Pengaruh rintangan (cek) alamiah

Pekerjaan-pekerjaan pengaturan sungai, seperti sodetan meander dan pembuatan krib atau lindungan tanggul, juga akan mempengaruhi gerak dasar sungai. Pada umumnya pekerjaan-pekerjaan ini akan menyebabkan degradasi dasar sungai akibat kapasitas angkutnya bertambah.

Dasar sungai di ruas bawah akan terdiri dari pasir sedang dan halus, mungkin dengan lapisan lanau dan lempung.

Apabila sungai mengalir ke laut atau danau, maka kemiringan dasarnya kecil, dan tergantung pada banyaknya sedimen yang diangkut oleh sungai itu, sebuah delta dapat terbentuk.

Terbentuknya delta merupakan pertanda pasti bahwa ruas bawah sungai dalam keadaan aggradasi.



**Gambar II.5 - Terbentuknya delta**

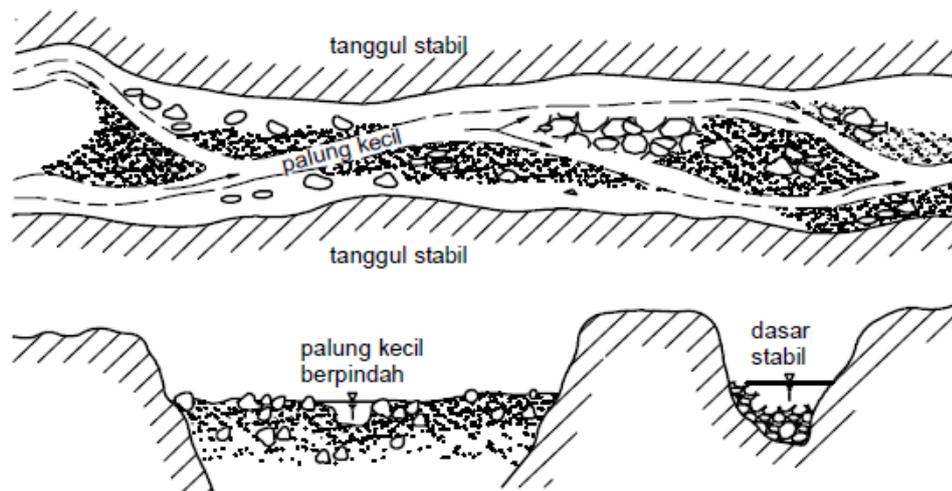
#### B. Morfologi sungai

Apabila tanggul sungai terdiri dari batu, konglomerat sementasi atau batu-batu, maka dapat diandaikan bahwa sungai itu stabil dengan dasarnya yang sekarang.

Jika dasar sungai penuh dengan batu-batu dan kerikil-kerikil, maka arah sungai tidak akan tetap dan palung kecil akan berpindah-pindah selama terjadi banjir besar.

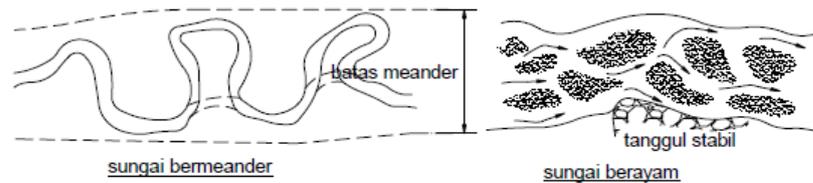
Vegetasi alamiah bisa membuat tanggul menjadi stabil. Tanggul yang tidak ditumbuhi pepohonan dan semak belukar akan mudah terkena erosi. Sebaiknya, di daerah-daerah lahar tanggul-tanggul batu yang stabil dapat terkikis dan palung besar yang lebar bisa terbentuk di sungai itu.

Dalam keadaan aslinya, hanya sedikit saja sungai yang lurus sampai jarak yang jauh. Bahkan pada ruas lurus mungkin terdapat pasir, kerikil atau bongkah-bongkah batu. Kecendrungan alamiah suatu sungai yang mengalir melalui daerah-daerah endapan alluvial adalah terjadinya meandering atau anyaman (braiding), tergantung apakah terbentuk alur tunggal atau beberapa alur kecil. Bahkan pada ruas yang berbeda dapat terbentuk meander dan anyaman.



**Gambar II.6** - Morfologi sungai

Biasanya terdapat lebar tertentu di sungai tempat di sepanjang sungai yang merupakan batas meander. Ini disebut batas meander. Besarnya batas meander ini merupakan data penting perencanaan tanggul banjir di sepanjang sungai.



**Gambar II.7** - Sungai bermeander dan terowongan

Untuk perencanaan bangunan utama, kita perlu mengetahui apakah meander di lokasi bangunan yang direncana stabil atau rawan terhadap erosi selama terjadi banjir.

Apabila tersedia peta-peta foto udara lama, maka peta-peta ini akan diperiksa dengan seksama guna membuat penyesuaian-penyesuaian morfologi sungai.

Penduduk setempat mungkin dapat memberikan keterangan yang bermanfaat mengenai stabilitas tanggul sungai. Pada waktu mengevaluasi stabilitas tanggul sungai, naiknya muka air setelah selesainya pelaksanaan bangunan bendung harus diperhitungkan. Ada satu hal yang harus mendapat perhatian khusus, yakni apakah vegetasi yang ada mampu bertahan hidup pada muka air tinggi, atau akan lenyap beberapa waktu kemudian. Tindakan-tindakan apa saja yang akan diambil guna mempertahankan stabilitas tanggul.

Ruas-ruas yang teranyam tidak akan memberikan kondisi yang baik untuk perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan bendung, karena aliran-aliran rendah tersebut akan tersebar di dasar sungai lebar yang terdiri dari pasir. Ruas-ruas demikian sebaiknya dihindari, kalau mungkin, atau dipilih bagian yang sempit dengan aliran alur yang terkonsentrasi.

Sungai-sungai tertentu mempunyai bantaran pada ruas-ruas yang landai yang akan tergenang banjir beberapa kali setiap tahunnya. Di sepanjang sungai mungkin terbentuk tanggul-tanggul rendah alamiah akibat endapan pasir halus dan lanau. Selama banjir besar tanggul-tanggul ini bisa bobol dan mengakibatkan arah dasar sungai berubah sama sekali.

Syarat-syarat penempatan bendung berdasarkan kondisi tanah dan fungsinya, antara lain:

- a) bendung diletakkan di alur sungai yang lurus atau mendekati lurus.
- b) Diletakkan pada palung sungai
- c) Tanah dasar memiliki daya dukung yang memadai

Jenis-jenis bendung berdasarkan fungsinya, yaitu:

- a) Bendung penyadap; berfungsi sebagai penyadap aliran sungai untuk berbagai keperluan seperti untuk irigasi, air baku, dan sebagainya.
- b) Bendung pembagi banjir; berfungsi untuk mengatur muka air sungai, sehingga terjadi pemisahan antara debit banjir dan debit rendah sesuai dengan kapasitasnya dan dibangun di percabangan sungai
- c) Bendung penahan pasang; berfungsi untuk mencegah masuknya air laut (asin), dan dibangun di bagian sungai yang dipengaruhi pasang surut air laut

### **2.2.3 Faktor lain**

#### **1) Topografi**

Topografi pada lokasi yang direncanakan sangat mempengaruhi perencanaan dan biaya pelaksanaan bangunan utama:

- (a) harus cukup tempat di tepi sungai untuk membuat kompleks bangunan utama termasuk kantong lumpur dan bangunan pembilas.
- (b) Topografi sangat mempengaruhi panjang serta tata letak tanggul banjir dan tanggul penutup, kalau ini diperlukan
- (c) Topografi harus dipelajari untuk membuat perencanaan trase saluran primer yang tidak terlalu mahal.

#### **2) Kondisi Geologi Teknik**

Yang paling penting adalah pondasi bangunan utama. Daya dukung dan kelulusan tanah bawah merupakan hal-hal penting yang sangat

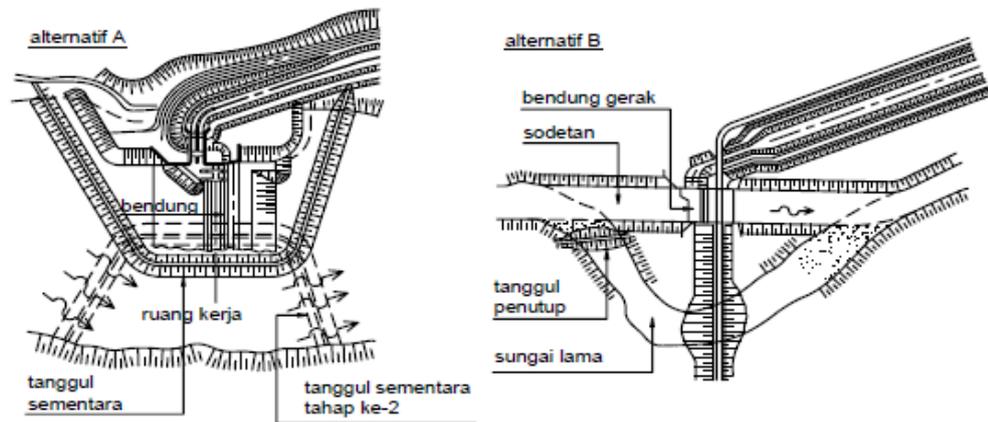
berpengaruh terhadap perencanaan bangunan utama besar sekali. Masalah-masalah lain yang harus diselidiki adalah kekuatan bahan terhadap erosi, tersedianya bahan bangunan (sumber bahan timbunan) serta parameter-parameter tanah untuk stabilitas tanggul.

(a) Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan akan dipertimbangkan juga dalam pemilihan lokasi yang cocok pada tahap awal penyelidikan.

Pada gambar II.8 diberikan 2 alternatif pelaksanaan yang biasa diterapkan yaitu:

- a) pelaksanaan di sungai
- b) pelaksanaan pada sodetan/kopur di samping sungai



**Gambar II.8** - Metode pelaksanaan alternatif

Lokasi yang dipilih harus cocok dengan metode pelaksanaan dan pekerjaan-pekerjaan sementara yang dibutuhkan.

Pekerjaan-pekerjaan sementara yang harus dipertimbangkan adalah:

- 1) Kemungkinan pembuatan saluran pengelak  
Saluran pengelak akan dibuat jika konstruksi dilaksanakan di dasar sungai yang dikeringkan. Kemudian aliran sungai akan dibelokkan untuk sementara.
- 2) Bendungan sementara  
Bendungan sementara (cofferdam) adalah bangunan sementara di sungai untuk melindungi lokasi pekerjaan.

3) Tempat kerja (construction pit)

Tempat kerja adalah tempat di mana bangunan akan dibuat. Biasanya lokasi cukup dalam dan perlu dijaga tetap kering dengan jalan memompa air di dalamnya.

4) Kopur (sudetan)

Jika pekerjaan dilakukan di luar alur sungai di tempat yang kering dan dilakukan dengan memiintas (disodet), maka ini disebut kopur; dimana lengan sungai lama kemudian harus ditutup.

5) Dewatering (pengeringan air permukaan dan penurunan muka air tanah)

6) Tanggul penutup

Tanggul penutup diperlukan untuk menutup saluran pengelak atau lengan sungai lama setelah pelaksanaan konstruksi bendung pengelak selesai.

b) Aksesibilitas dan Tingkat Pelayanan

Kemudahan transportasi, sarana dan prasarana menuju lokasi bangunan akan sangat membantu dalam persiapan pelaksanaan pekerjaan, pelaksanaan pembangunan bendung maupun dalam melaksanakan kegiatan operasi dan pemeliharaan bila bangunan bendung telah selesai dibangun dan mulai dioperasikan.

Mengingat banyaknya aspek yang harus dipertimbangkan dalam penentuan lokasi bendung, maka perlu kecermatan dan ketelitian dalam mengevaluasi lokasi penempatan bendung berdasarkan kondisi tanah dan fungsinya.

## 2.3 Memeriksa Lokasi Penempatan Analisis

Data hasil analisis (hidrologi, geologi, geoteknik, dsb) diperiksa kelengkapannya untuk menghindari kesalahan perancangan.

### 2.3.1 Data Perencanaan

Data-data yang dibutuhkan untuk perencanaan bangunan utama dalam suatu jaringan irigasi adalah:

- a) Data kebutuhan air multisektor: merupakan data kebutuhan air yang diperlukan dan meliputi jumlah air yang diperlukan untuk irigasi pertanian, jumlah kebutuhan air minum, jumlah kebutuhan air baku untuk rumah tangga penggelontoran limbah kota dan air untuk stabilitas aliran sungai dan kehidupan biota alami.
- b) Data topografi: peta yang meliputi seluruh daerah aliran sungai peta situasi untuk letak bangunan utama; gambar-gambar potongan memanjang dan melintang sungai di sebelah hulu maupun hilir dari kedudukan bangunan utama.
- c) Data hidrologi: data aliran sungai yang meliputi data banjir yang andal. Data ini harus mencakup beberapa periode ulang; daerah hujan; tipe tanah dan vegetasi yang terdapat di daerah aliran. Elevasi tanah dan luas lahan yang akan didrain menyusut luas.
- d) Data morfologi: kandungan sedimen, kandungan sedimen dasar (bedload) maupun layang (suspended load) termasuk distribusi ukuran butir, perubahan-perubahan yang terjadi pada dasar sungai, secara horisontal maupun vertikal, unsur kimiawi sedimen.
- e) Data geologi: kondisi umum permukaan tanah daerah yang bersangkutan; keadaan geologi lapangan, kedalaman lapisan keras, sesar, kelulusan (permeabilitas) tanah, bahaya gempa bumi, parameter yang harus dipakai.
- f) Data mekanika tanah: bahan pondasi, bahan konstruksi, sumber bahan timbunan, batu untuk pasangan batu kosong, agregat untuk beton, batu belah untuk pasangan batu, parameter tanah yang harus digunakan.
- g) Standar untuk perencanaan: peraturan dan standar yang telah ditetapkan secara nasional, seperti PBI beton, daftar baja, konstruksi kayu Indonesia, dan sebagainya.
- h) Data lingkungan dan ekologi
- i) Data elevasi bendung sebagai hasil perhitungan muka air saluran dan dari luas sawah yang diairi.

Dalam Lampiran A (KP-02) disajikan sebuah daftar lembaga-lembaga dan instansi-instansi pemerintah yang menyediakan informasi dan data mengenai pokok masalah yang telah disebutkan di atas.

### 2.3.2 Data kebutuhan air multisektor

Data-data jumlah kebutuhan air yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- a) Jumlah kebutuhan air irigasi pada saat kebutuhan puncak dari irigasi untuk luas potensial irigasi dengan pembagian golongan atau tanpa golongan.
- b) Jumlah kebutuhan air minum dengan proyeksi kebutuhan 25 tahun kedepan dengan mempertimbangkan kemungkinan perluasan kota, pemukiman dan pertumbuhan penduduk yang didapat dari institusi yang menangani air minum.
- c) Jumlah kebutuhan air baku untuk industri terutama kawasan-kawasan industri dengan perkiraan pertumbuhan industri 10%.
- d) Jumlah kebutuhan air untuk penggelontoran limbah perkotaan pada saluran pembuang perkotaan.
- e) Jumlah kebutuhan air untuk stabilitas aliran sungai dan kehidupan biota air (dalam rangka penyiapan OP bendung).

### 2.3.3 Data Topografi

Data-data topografi yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- a) Peta Rupa Bumi sebagai peta dasar dengan skala 1:50.000 atau lebih besar yang menunjukkan hulu sungai sampai muara. Garis-garis ketinggian (kontur) setiap 25 m sehingga dapat diukur profil memanjang sungai dan luas daerah aliran sungainya. Dalam hal tidak tersedia peta rupa bumi 1:50.000 maka dapat dipergunakan peta satelit sebagai informasi awal lokasi bangunan dan informasi lokasi daerah studi. Namun demikian peta satelit ini tidak bisa menggantikan peta rupa bumi skala 1:50.000.
- b) Peta situasi sungai di mana ada rencana bangunan utama akan dibuat. Peta ini sebaiknya berskala 1:2.000. Peta itu harus meliputi jarak 1 km ke hulu dan 1 km ke hilir dari bangunan utama, dan melebar 250 dari masing-masing tepi sungai termasuk bantaran sungai. Garis ketinggian setiap 1,0 m, kecuali di dasar sungai garis

ketinggian setiap 0,50 m. Peta itu harus mencakup lokasi alternatif yang sudah diidentifikasi serta panjang yang diliput harus memadai agar dapat diperoleh informasi mengenai bentuk denah sungai dan memungkinkan dibuatnya sodetan/kopur dan juga untuk merencanakan tata letak dan trase tanggul penutup. Peta itu harus mencantumkan batas-batas yang penting, seperti batas-batas desa, sawah dan seluruh prasarannya. Harus ditunjukkan pula titik-titik tetap (Benchmark) yang ditempatkan di sekitar daerah yang bersangkutan, lengkap dengan koordinat dan elevasinya.

- c) Gambar potongan memanjang sungai dengan potongan melintang setiap 50 m. Potongan memanjang skala horisontalnya 1:2000; skala vertikalnya 1:200. Skala untuk potongan melintang 1:200 horisontal dan 1 : 200 vertikal. Panjang potongan melintangnya adalah 50 m tepi sungai. Elevasi akan diukur pada jarak maksimum 25 m atau untuk beda ketinggian 0,25 m tergantung mana yang dapat dicapai lebih dahulu. Dalam potongan memanjang sungai, letak pencatat muka air otomatis (AWLR) dan papan duga harus ditunjukkan dan titik nolnya harus diukur.
- d) Pengukuran situasi bendung dengan skala 1 : 200 atau 1 : 500 untuk areal seluas kurang lebih 50 ha (1.000x500 m<sup>2</sup>). Peta tersebut harus memperlihatkan bagian-bagian lokasi bangunan utama secara lengkap, termasuk lokasi kantong lumpur dan tanggul penutup dengan garis ketinggian setiap 0,25 m.

Foto udara jika ada akan sangat bermanfaat untuk penyelidikan lapangan. Apabila foto udara atau citra satelit dari berbagai tahun pengambilan juga tersedia, maka ini akan lebih menguntungkan untuk penyelidikan perilaku dasar sungai.

Bangunan yang ada di sungai di hulu dan hilir bangunan utama yang direncanakan harus diukur dan dihubungkan dengan hasil-hasil pengukuran bangunan utama.

#### **2.3.4 Data Hidrologi**

- 1) Debit banjir

Data-data yang diperlukan untuk perencanaan bangunan utama adalah:

- (1) Data untuk menghitung berbagai besaran banjir rencana
- (2) Data untuk menilai debit rendah andalan, dan
- (3) Data untuk membuat neraca air sungai secara keseluruhan

Banjir rencana maksimum untuk bangunan bendung diambil sebagai debit banjir dengan periode ulang 100 tahun. Banjir dengan periode ulang 1.000 tahun diperlukan untuk mengetahui tinggi tanggul banjir dan mengontrol keamanan bangunan utama.

Analisa perhitungan bentuk mercu dan permukaan tubuh bendung bagian hilir didasarkan atas debit yang paling dominan terhadap daya gerus dan daya hisap, yang ditetapkan debit dengan periode ulang 5-25 tahun.

Sedangkan analisa perhitungan kolam olak didasarkan atas debit dominan yang mengakibatkan efek degradasi dasar sungai di hilir kolam olak. Debit dominan ini sangat dipengaruhi oleh daya tahan formasi material dasar sungai terhadap gerusan, yang ditetapkan debit dengan periode ulang 25-100 tahun.

Untuk bangunan yang akan dibuat di hilir waduk, banjir rencana maksimum akan diambil sebagai debit dengan periode ulang 100 tahun dari daerah antara dam dan bangunan bendung, ditambah dengan aliran dari outflow waduk setelah dirouting yang disebabkan oleh banjir dengan periode ulang 100 tahun.

Elevasi tanggul hilir sungai dari bangunan utama didasarkan pada tinggi banjir dengan periode ulang 5 sampai 24 tahun. Periode ulang tersebut (5-25 tahun) akan ditetapkan berdasarkan jumlah penduduk yang terkena akibat banjir yang mungkin terjadi, serta pada nilai ekonomis tanah dan semua prasarananya. Biasanya di sebelah hulu bangunan utama tidak akan dibuat tanggul sungai untuk melindungi lahan dari genangan banjir.

Saluran pengelak, jika diperlukan selama pelaksanaan, biasanya direncanakan berdasarkan banjir dengan periode ulang 25 tahun, kecuali kalau perhitungan risiko menghasilkan periode ulang lain yang lebih cocok (lihat Bab 10.2 KP-02).

Rangkaian data debit banjir untuk berbagai periode ulang harus andal. Hal ini berarti bahwa harga-harga tersebut harus didasarkan pada catatan-catatan banjir yang sebenarnya yang mencakup jangka waktu lama (sekitar 20 tahun).

Apabila data semacam ini tidak tersedia (dan begitulah yang sering terjadi), kita harus menggunakan cara lain, misalnya berdasarkan data curah hujan di daerah aliran sungai. Jika ini tidak berhasil, kita usahakan cara lain berdasarkan data yang diperoleh dari daerah terdekat (untuk penjelasan lebih lanjut, lihat KP-01, Perencanaan Jaringan Irigasi). Debit banjir dengan periode-periode ulang berikut harus diperhitungkan 1, 5, 25, 50, 100, 1000 tahun.

## 2) Debit andalan

Debit andalan dihitung berdasarkan data debit aliran rendah, dengan panjang data minimal 20 tahun, debit andalan dibutuhkan untuk menilai luas daerah potensial yang dapat diairi dari sungai yang bersangkutan.

Perhitungan debit rendah andalan dengan periode ulang yang diperlukan (biasanya 5 tahun), dibutuhkan untuk menilai luas daerah potensial yang dapat diairi dari sungai yang bersangkutan.

Adalah penting untuk memperkirakan debit ini seakurat mungkin. Cara terbaik untuk memenuhi persyaratan ini adalah dengan melakukan pengukuran debit (atau membaca papan duga) tiap hari. Jika tidak tersedia data mengenai muka air dan debit, maka debit rendah harus di hitung berdasarkan curah hujan dan data limpasan air hujan dari daerah aliran sungai.

## 3) Neraca air

Neraca air (water balance) seluruh sungai harus dibuat guna mempertimbangkan perubahan alokasi/penjatahan air akibat dibuatnya bangunan utama.

Hak atas air, penyadapan air di hulu dan hilir sungai pada bangunan bendung serta kebutuhan air di masa datang, harus ditinjau kembali.

### 2.3.5 Data Morfologi

Konstruksi bangunan bendung di sungai akan mempunyai 2 konsekuensi (akibat) terhadap morfologi sungai yaitu:

- 1) Konstruksi itu akan mengubah kebebasan gerak sungai ke arah horisontal
- 2) Konsentrasi sedimen akan berubah karena air dan sedimen dibelokkan, dari sungai dan hanya sedimennya saja yang akan digelontorkan kembali ke sungai.

#### (1) Morfologi

(a) Data-data fisik yang diperlukan dari sungai untuk perencanaan bendung adalah:

- (a) Kandungan dan ukuran sedimen di sungai tersebut
- (b) Tipe dan ukuran sedimen dasar yang ada
- (c) Pembagian (distribusi) ukuran butir dari sedimen yang ada
- (d) Banyaknya sedimen dalam waktu tertentu
- (e) Pembagian sedimen secara vertikal dalam sungai.
- (f) Floting debris.

(b) Data historis profil melintang sungai dan gejala terjadinya degradasi dan aggradasi sungai dimana lokasi bendung direncanakan dibangun.

#### (2) Geometrik Sungai

Data geometri sungai yang dibutuhkan berupa bentuk dan ukuran dasar sungai terdalam, alur palung dan lembah sungai secara vertikal dan horisontal mencakup parameter-parameter yang disebut di bawah.

- (a) lebar
- (b) kemiringan
- (c) ketinggian

Profil sungai, mencakup profil dasar, tebing alur dan palung sungai. Data tersebut merupakan data topografi (lihat uraian Data Topografi).

### 2.3.6 Data Geologi Teknik

#### 1) Geologi

Geologi permukaan suatu daerah harus diliput pada peta geologi permukaan. Skala peta yang harus dipakai adalah:

- (a) Peta daerah dengan skala 1:100.000 atau 1:50.000
- (b) Peta semidetil dengan skala 1:25.000 atau 1:5.000
- (c) Peta detail dengan skala 1:2.000 atau 1:100.

Peta-peta tersebut harus menunjukkan geologi daerah yang bersangkutan, daerah pengambilan bahan bangunan, detail-detail geologis yang perlu diketahui oleh perencana, seperti: tipe batuan, daerah geser, sesar, daerah pecahan, jurus dan kemiringan lapisan.

Berdasarkan pengamatan dari sumuran dan paritan uji, perubahan-perubahan yang terjadi dalam formasi tanah maupun tebal dan derajat pelapukan tanah penutup (*overburden*) harus diperkirakan.

Dalam banyak hal, pemboran mungkin diperlukan untuk secara tepat mengetahui lapisan dan tipe batuan. Hal ini sangat penting untuk pondasi bendung. Adalah perlu untuk mengetahui kekuatan pondasi maupun tersedianya batu di daerah sekitar untuk menentukan lokasi bendung itu sendiri, dan juga untuk keperluan bahan bangunan yang diperlukan, seperti misalnya agregat untuk beton, batu untuk pasangan atau untuk batu candi, pasir dan kerikil. Untuk memperhitungkan stabilitas bendung, kekuatan gempa perlu diketahui.

#### 2) Data Mekanika Tanah

Cara terbaik untuk memperoleh data tanah pada lokasi bangunan bendung ialah dengan menggali sumur dan parit uji, karena sumuran dan paritan ini akan memungkinkan diadakannya pemeriksaan visual dan diperolehnya contoh tanah yang tidak terganggu. Apabila pemboran memang harus dilakukan karena adanya lapisan air tanah atau karena dicatat dalam borlog. Kelulusan tanah harus diketahui agar gaya angkat dan perembesan dapat diperhitungkan.

### 2.3.7 Muka Air

Muka air rencana di depan pengambilan bergantung pada:

- a) elevasi muka air yang diperlukan untuk irigasi (eksploitasi normal)
- b) beda tinggi energi pada kantong lumpur yang diperlukan untuk membilas sedimen dari kantong
- c) beda tinggi energi pada bangunan pembilas yang diperlukan untuk membilas sedimen dekat pintu pengambilan.
- d) beda tinggi energi yang diperlukan untuk meredam energi pada kolam olak.

Untuk elevasi muka air yang diperlukan, tinggi, kedalaman air dan kehilangan tinggi energi berikut harus dipertimbangkan:

- a) elevasi sawah yang akan diairi
- b) kedalaman air di sawah
- c) kehilangan tinggi energi di saluran dan boks tersier
- d) kehilangan tinggi energi di bangunan sadap tersier
- e) variasi muka air untuk eksploitasi di jaringan primer
- f) panjang dan kemiringan saluran primer
- g) kehilangan tinggi energi pada bangunan-bangunan di jaringan primer sipon, pengatur, flum, dan sebagainya
- h) kehilangan tinggi energi di bangunan utama

Perlunya kecermatan dan ketelitian dalam memeriksa data hasil analisis untuk menghindari kesalahan

## 2.4 Penetapan Bentuk, Jenis dan Materila Bendung

02 (KP-02) dan SNI tentang pelaksanaan konstruksi.

### 2.4.1 Jenis-jenis Bangunan Utama

Ada 6 (enam) bangunan utama yang sudah pernah atau sering dibangun di Indonesia, antara lain:

- a) Bendung Tetap

Bangunan air ini dengan kelengkapannya dibangun melintang sungai atau sudetan, dan sengaja dibuat untuk meninggikan muka air dengan ambang tetap sehingga air sungai dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi ke

jaringan irigasi. Kelebihan airnya dilimpahkan ke hilir dengan terjunan yang dilengkapi dengan kolam olak dengan maksud untuk meredam energi.

Ada 2 (dua) tipe atau jenis bendung tetap dilihat dari bentuk struktur ambang pelimpahannya, yaitu:

- (a) Ambang tetap yang lurus dari tepi ke tepi kanan sungai artinya as ambang tersebut berupa garis lurus yang menghubungkan dua titik tepi sungai.
- (b) Ambang tetap yang berbelok-belok seperti gigi gergaji. Tipe seperti ini diperlukan bila panjang ambang tidak mencukupi dan biasanya untuk sungai dengan lebar yang kecil tetapi debit airnya besar. Maka dengan menggunakan tipe ini akan didapat panjang ambang yang lebih besar, dengan demikian akan didapatkan kapasitas pelimpahan debit yang besar. Mengingat bentuk fisik ambang dan karakter hidrolisnya, disarankan bendung type gergaji ini dipakai pada saluran. Dalam hal diterapkan di sungai harus memenuhi syarat sebagai berikut:
  - (1) Debit relatif stabil
  - (2) Tidak membawa material terapung berupa batang-batang pohon
  - (3) Efektivitas panjang bendung gergaji terbatas pada kedalaman air pelimpasan tertentu.

b) Bendung Gerak Vertikal

Bendung ini terdiri dari tubuh bendung dengan ambang tetap yang rendah dilengkapi dengan pintu-pintu yang dapat digerakkan vertikal maupun radial.

Tipe ini mempunyai fungsi ganda, yaitu mengatur tinggi muka air di hulu bendung kaitannya dengan muka air banjir dan meninggikan muka air sungai kaitannya dengan penyadapan air untuk berbagai keperluan. Operasional di lapangan dilakukan dengan membuka pintu seluruhnya pada saat banjir besar atau membuka pintu sebagian pada saat banjir

sedang dan kecil. Pintu ditutup sepenuhnya pada saat kondisi normal, yaitu untuk kepentingan penyadapan air.

Tipe bendung gerak ini hanya dibedakan dari bentuk pintu-pintunya antara lain:

- (a) Pintu geser atau sorong, banyak digunakan untuk lebar dan tinggi bukaan yang kecil dan sedang. Diupayakan pintu tidak terlalu berat karena akan memerlukan peralatan angkat yang lebih besar dan mahal. Sebaiknya pintu cukup ringan tetapi memiliki kekakuan yang tinggi sehingga bila diangkat tidak mudah bergetar karena gaya dinamis aliran air.
  - (b) Pintu radial, memiliki daun pintu berbentuk lengkung (busur) dengan lengan pintu yang sendinya tertanam pada tembok sayap atau pilar. Konstruksi seperti ini dimaksudkan agar daun pintu lebih ringan untuk diangkat dengan menggunakan kabel atau rantai. Alat penggerak pintu dapat pula dilakukan secara hidrolik dengan peralatan pendorong dan penarik mekanik yang tertanam pada tembok sayap atau pilar.
- c) Bendung Karet (Bendung Gerak Horizontal)

Bendung karet memiliki 2 (dua) bagian pokok, yaitu :

- (a) Tubuh bendung yang terbuat dari karet
- (b) Pondasi beton berbentuk plat beton sebagai dudukan tabung karet, serta dilengkapi satu ruang kontrol dengan beberapa perlengkapan (mesin) untuk mengontrol mengembang dan mengempisnya tabung karet.

Bendung ini berfungsi meninggikan muka air dengan cara mengembungkan tubuh bendung dan menurunkan muka air dengan cara mengempiskannya. Tubuh bendung yang terbuat dari tabung karet dapat diisi dengan udara atau air. Proses pengisian udara atau air dari pompa udara atau air dilengkapi dengan instrumen pengontrol udara atau air (manometer).

- d) Bendung Saringan Bawah

Bendung ini berupa bendung pelimpah yang dilengkapi dengan saluran penangkap dan saringan. Bendung ini meloloskan air lewat saringan dengan membuat bak penampung air berupa saluran penangkap melintang sungai dan mengalirkan airnya ke tepi sungai untuk dibawa ke jaringan irigasi.

Operasional di lapangan dilakukan dengan membiarkan sedimen dan batuan meloncat melewati bendung, sedang air diharapkan masuk ke saluran penangkap. Sedimen yang tinggi diendapkan pada saluran penangkap pasir yang secara periodik dibilas masuk sungai kembali.

e) Pompa

Ada beberapa jenis pompa didasarkan pada tenaga penggerakannya, antara lain:

- (a) Pompa air yang digerakkan oleh tenaga manusia (pompa tangan),
- (b) Pompa air dengan penggerak tenaga air (air terjun dan aliran air),
- (c) Pompa air dengan penggerak berbahan bakar minyak
- (d) Pompa air dengan penggerak tenaga listrik.

Pompa digunakan bila bangunan-bangunan pengelak yang lain tidak dapat memecahkan permasalahan pengambilan air dengan gravitasi, atau kalau pengambilan air relative sedikit dibandingkan dengan lebar sungai. Dengan instalasi pompa pengambilan air dapat dilakukan dengan mudah dan cepat. Namun dalam operasionalnya memerlukan biaya operasi dan pemeliharannya cukup mahal terutama dengan makin mahalnya bahan bakar dan tenaga listrik.

Dari cara instalasinya pompa dapat dibedakan atas pompa yang mudah dipindah-pindahkan karena ringan dan mudah dirakit ulang setelah dilepas komponennya dan pompa tetap (stationary) yang dibangun/dipasang dalam bangunan rumah pompa secara permanen.

f) Pengambilan Bebas

Pengambilan air untuk irigasi ini langsung dilakukan dari sungai dengan meletakkan bangunan pengambilan yang tepat ditepi sungai, yaitu pada

tikungan luar dan tebing sungai yang kuat atau massive. Bangunan pengambilan ini dilengkapi pintu, ambang rendah dan saringan yang pada saat banjir pintu dapat ditutup supaya air banjir tidak meluap ke saluran induk.

Kemampuan menyadap air sangat dipengaruhi elevasi muka air di sungai yang selalu bervariasi tergantung debit pengaliran sungai saat itu. Pengambilan bebas biasanya digunakan untuk daerah irigasi dengan luasan yang kecil sekitar 150 ha dan masih pada tingkat irigasi  $\frac{1}{2}$  (setengah) teknis atau irigasi sederhana.

g) Bendung Tipe Gergaji

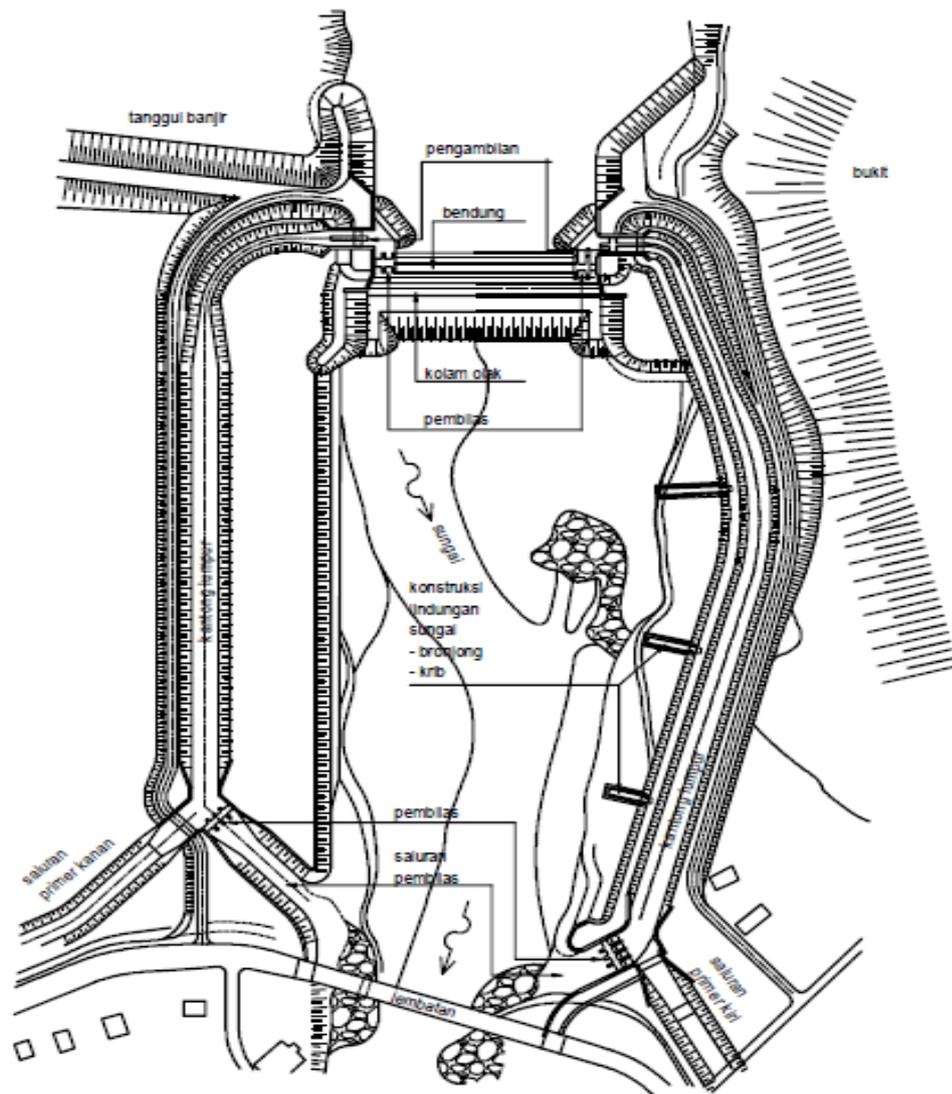
Diperkenankan dibangun dengan syarat harus dibuat di sungai yang alirannya stabil, tidak ada tinggi limpasan maksimum, tidak ada material hanyutan yang terbawa oleh aliran

#### **2.4.2 Bagian-bagian Bangunan Utama**

Bangunan utama terdiri dari berbagai bagian yang akan dijelaskan secara terinci dalam pasal berikut ini. Pembagiannya dibuat sebagai berikut :

- 1) Bangunan bendung
- 2) Bangunan pengambilan
- 3) Bangunan pembilas (penguras)
- 4) Kantong lumpur
- 5) Perkuatan sungai
- 6) Bangunan-bangunan pelengkap

Gambar II.9 menunjukkan tata letak tipe-tipe bangunan utama.



**Gambar II.9** - Bangunan Utama

a) Bangunan Bendung

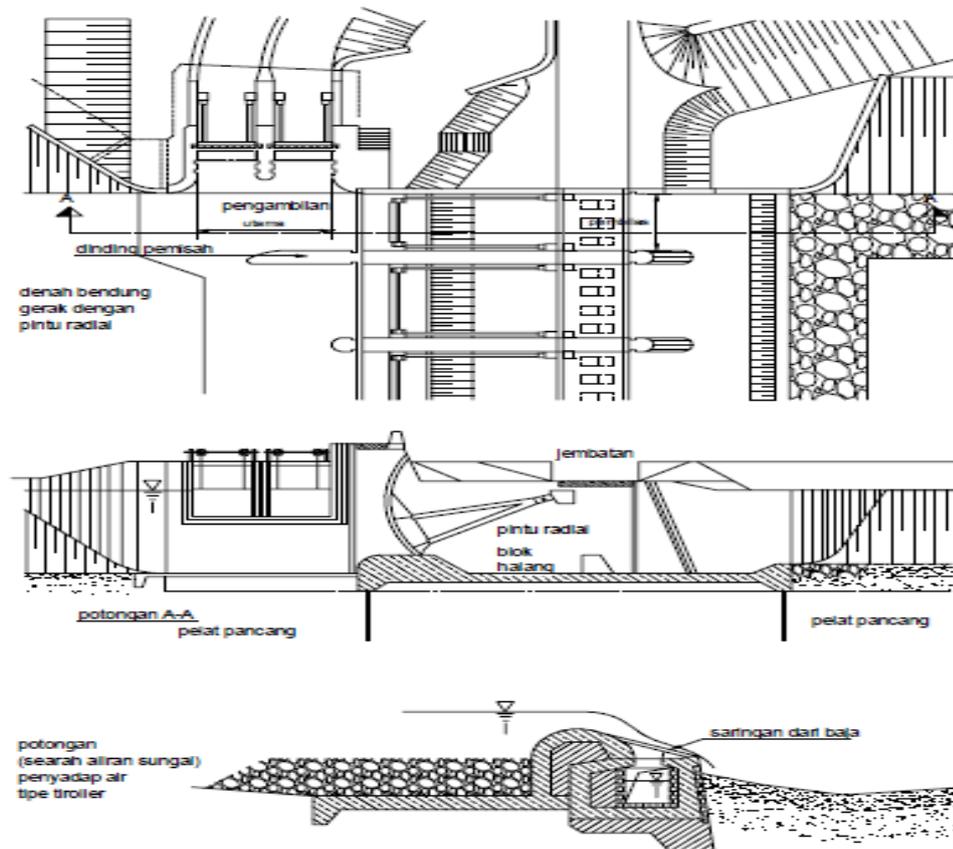
Bangunan bendung adalah bagian dari bangunan utama yang benar-benar dibangun di dalam air. Bangunan ini diperlukan untuk memungkinkan dibelokkannya air sungai ke jaringan irigasi, dengan jalan menaikkan muka

air di sungai atau dengan memperlebar pengambilan di dasar sungai seperti pada tipe bendung saringan bawah (bottom rack weir).

Bila bangunan tersebut juga akan dipakai untuk mengatur elevasi air di sungai, maka ada dua tipe yang dapat digunakan, yakni:

- (a) bendung pelimpah dan
- (b) bendung gerak (barrage)

Gambar II.10 memberikan beberapa tipe denah dan potongan melintang bendung gerak dan potongan melintang bendung saringan bawah.



**Gambar II.10** - Denah dan potongan melintang bendung gerak dan potongan melintang bendung saringan bawah

Bendung adalah bangunan pelimpah melintang sungai yang memberikan tinggi muka air minimum kepada bangunan pengambilan untuk keperluan irigasi. Bendung merupakan penghalang selama terjadi banjir dan dapat menyebabkan genangan luas di daerah-daerah hulu bendung tersebut.

Bendung gerak adalah bangunan berpintu yang dibuka selama aliran besar; masalah yang ditimbulkannya selama banjir kecil saja. Bendung gerak dapat mengatur muka air di depan pengambilan agar air yang masuk tetap sesuai dengan kebutuhan irigasi. Bendung gerak mempunyai kesulitan-kesulitan eksploitasi karena pintunya harus tetap dijaga dan dioperasikan dengan baik dalam keadaan apa pun.

Bendung saringan bawah adalah tipe bangunan yang dapat menyadap air dari sungai tanpa terpengaruh oleh tinggi muka air. Tipe ini terdiri dari sebuah parit terbuka yang terletak tegak lurus terhadap aliran sungai. Jeruji Baja (saringan) berfungsi untuk mencegah masuknya batu-batu bongkah ke dalam parit. Sebenarnya bongkah dan batu-batu dihanyutkan ke bagian hilir sungai. Bangunan ini digunakan di bagian/ruas atas sungai di mana sungai hanya mengangkut bahan-bahan yang berukuran sangat besar.

Untuk keperluan-keperluan irigasi, bukanlah selalu merupakan keharusan untuk meninggikan muka air di sungai. Jika muka air sungai cukup tinggi, dapat dipertimbangkan pembuatan pengambilan bebas; bangunan yang dapat mengambil air dalam jumlah yang cukup banyak selama waktu pemberian air irigasi, tanpa membutuhkan tinggi muka air tetap di sungai.

Dalam hal ini pompa dapat juga dipakai untuk menaikkan air sampai elevasi yang diperlukan. Akan tetapi, karena biaya pengelolannya tinggi, maka harga air irigasi mungkin menjadi terlalu tinggi pula.

b) Pengambilan

Pengambilan (lihat Gambar II.11) adalah sebuah bangunan berupa pintu air. Air irigasi dibelokkan dari sungai melalui bangunan ini. Pertimbangan utama dalam merencanakan sebuah bangunan pengambilan adalah debit rencana pengelakan sedimen.

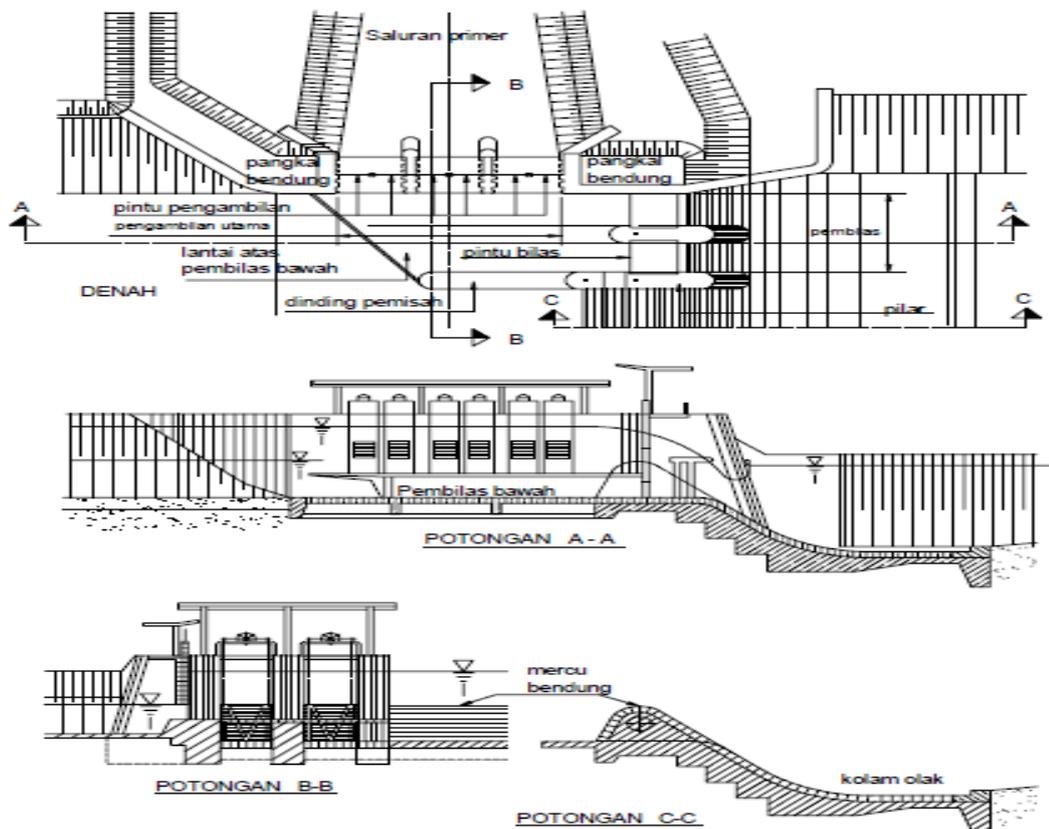
c) Pembilas

Pada tubuh bendung tepat di hilir pengambilan, dibuat bangunan pembilas (lihat Gambar 4.11) guna mencegah masuknya bahan sedimen kasar ke dalam jaringan saluran irigasi. Pembilas dapat direncanakan sebagai:

- (a) pembilas pada tubuh bendung dekat pengambilan
- (b) pembilas bawah (undersluice)
- (c) shunt undersluice
- (d) pembilas bawah tipe boks.

Tipe (2) sekarang umum dipakai; tipe (1) adalah tipe tradisional; tipe (3) dibuat di luar lebar bersih bangunan bendung dan tipe (4) menggabung pengambilan dan pembilas dalam satu bidang atas bawah.

Perencanaan pembilas dengan dinding pemisah dan pembilas bawah telah diuji dengan berbagai penyelidikan model. Aturan-aturan terpenting yang ditetapkan melalui penyelidikan ini diberikan dalam Bab 5 (KP-02).



**Gambar II.11 - Bangunan pengambilan dan pembilas**

d) Kantong lumpur

Kantong lumpur mengendapkan fraksi-fraksi sedimen yang lebih besar dari fraksi pasir halus tetapi masih termasuk pasir halus dengan diameter butir berukuran 0,088 mm dan biasanya ditempatkan persis di sebelah hilir pengambilan. Bahan-bahan yang lebih halus tidak dapat ditangkap dalam

kantong lumpur biasa dan harus diangkut melalui jaringan saluran ke sawah-sawah. Bahan yang telah mengendap di dalam kantong kemudian dibersihkan secara berkala. Pembersihan ini biasanya dilakukan dengan menggunakan aliran air yang deras untuk menghanyutkan bahan endapan tersebut kembali ke sungai. Dalam hal-hal tertentu, pembersihan ini perlu dilakukan dengan cara lain, yaitu dengan jalan mengeruknya atau dilakukan dengan tangan.

e) Bangunan Perkuatan Sungai

Pembuatan bangunan perkuatan sungai khusus di sekitar bangunan utama untuk menjaga agar bangunan tetap berfungsi dengan baik, terdiri dari:

- (a) Bangunan perkuatan sungai guna melindungi bangunan terhadap kerusakan akibat penggerusan dan sedimentasi. Pekerjaan-pekerjaan ini umumnya berupa krib, matras batu, pasangan batu kosong dan/atau dinding pengarah.
- (b) Tanggul banjir untuk melindungi lahan yang berdekatan terhadap genangan akibat banjir.
- (c) Saringan bongkah untuk melindungi pengambilan atau pembilas, agar bongkah tidak menyumbat bangunan selama terjadi banjir.
- (d) Tanggul penutup untuk menutup bagian sungai lama atau, bila bangunan bendung dibuat di kopur, untuk mengelakkan sungai melalui bangunan tersebut.

f) Bangunan pelengkap

Bangunan-bangunan atau perlengkapan yang akan ditambahkan ke bangunan utama diperlukan keperluan :

- (a) Pengukuran debit dan muka air di sungai maupun di saluran;
- (b) Rumah untuk operasi pintu;
- (c) Peralatan komunikasi, tempat teduh serta perumahan untuk tenaga operasional, gudang dan ruang kerja untuk kegiatan operasional dan pemeliharaan;
- (d) Jembatan di atas bendung, agar seluruh bagian bangunan utama mudah di jangkau, atau agar bagian-bagian itu terbuka untuk umum.

- (e) Instalasi tenaga air mikro atau mini, tergantung pada hasil evaluasi ekonomi serta kemungkinan hidrolik. Instalasi ini bisa dibangun di dalam bangunan bendung atau di ujung kantong lumpur atau di awal saluran.
- (f) Bangunan tangga ikan (fish ladder) diperlukan pada lokasi yang senyatanya perlu dijaga keseimbangan lingkungannya sehingga kehidupan biota tidak terganggu. Pada lokasi diluar pertimbangan tersebut tidak diperlukan tangga ikan.

Secara umum konstruksi bendung dibuat dengan menggunakan material batu kali. Material yang digunakan dalam perancangan bendung harus memperhatikan sifat fisik tanah dan batuan di sekitar daerah rencana bendung.

Perlunya kecermatan dan ketelitian dalam menetapkan bentuk, jenis dan material bendung untuk kemudahan pelaksanaan dan operasinya.

## 2.5 Latihan

1. Sebutkan 6 bangunan utama di Indonesia !
2. Sebutkan Aspek – aspek yang mempengaruhi pemilihan lokasi !
3. Rincikan rekomendasi syarat pemilihan lokasi bendung !

## 2.6 Rangkuman

Bangunan utama dapat didefinisikan sebagai: “semua bangunan yang direncanakan di sungai atau aliran air untuk membelokkan air ke dalam jaringan irigasi, biasanya dilengkapi dengan kantong lumpur agar bisa mengurangi kandungan sedimen yang berlebihan serta memungkinkan untuk mengukur dan mengatur air yang masuk”.

Untuk kepentingan keseimbangan lingkungan dan kebutuhan daerah di hilir bangunan utama, maka aliran air sungai tidak diperbolehkan disadap seluruhnya. Namun harus tetap dialirkan sejumlah 5% dari debit yang ada.

Lokasi penempatan bendung dievaluasi berdasarkan kondisi tanah dan fungsinya dengan teliti.

Pekerjaan-pekerjaan pengaturan sungai, seperti sodetan meander dan pembuatan krib atau lindungan tanggul, juga akan mempengaruhi gerak dasar sungai.

Untuk perencanaan bangunan utama, kita perlu mengetahui apakah meander di lokasi bangunan yang direncana stabil atau rawan terhadap erosi selama terjadi banjir.

## BAB III

### PERANCANGAN PRA-DESAIN BANGUNAN UTAMA (BENDUNG)

*Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta diharapkan mampu menjelaskan mengenai perancangan pra-desain bangunan utama ( bendung )*

#### 3.1 Merancang Desain Bendung

Untuk perencanaan pendahuluan akan dipakai kriteria seperti yang diberikan dalam Bagian KP - 02 Bangunan Utama. Perencanaan Pendahuluan akan dipakai sebagai dasar untuk penyelidikan-penyelidikan selanjutnya yang berkenaan dengan :

- a) Pemetaan sungai dan lokasi bendung
- b) Penyelidikan geologi teknik
- c) Penyelidikan model hidrolis, kalau diperlukan.

Desain bendung dirancang dengan memperhatikan kondisi tanah dan hasil analisis debit banjir rencana dengan mengacu pada standar kriteria perencanaan KP-02.

#### 3.1.1 Bendung Pelimpah

##### 3.1.1.1 Lebar Bendung

Lebar bendung, yaitu jarak antara pangkal-pangkalnya (abutment), sebaiknya sama dengan lebar rata-rata sungai pada bagian yang stabil. Di bagian ruas bawah sungai, lebar rata-rata ini dapat diambil pada debit penuh (bankful discharge): di bagian ruas atas mungkin sulit untuk menentukan debit penuh. Dalam hal ini banjir mean tahunan dapat diambil untuk menentukan lebar rata-rata bendung. Lebar maksimum bendung hendaknya tidak lebih dari 1,2 kali lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil.

Untuk sungai-sungai yang mengangkut bahan-bahan sedimen kasar yang berat, lebar bendung tersebut harus lebih disesuaikan lagi terhadap lebar rata-rata sungai, yakni jangan diambil 1,2 kali lebar sungai tersebut.

Agar pembuatan bangunan peredam energi tidak terlalu mahal, maka aliran per satuan lebar hendaknya dibatasi sampai sekitar  $12-14.m^3/dt.m^1$ , yang memberikan tinggi energi maksimum sebesar 3,5-4,5 m (lihat Gambar III.2)

Lebar efektif mercu ( $B_e$ ) dihubungkan dengan lebar mercu yang sebenarnya ( $B$ ), yakni jarak antara pangkal-pangkal bendung dan/atau tiang pancang, dengan persamaan berikut:

$$B_e = B - 2 (nK_p + K_a) H_1$$

di mana:

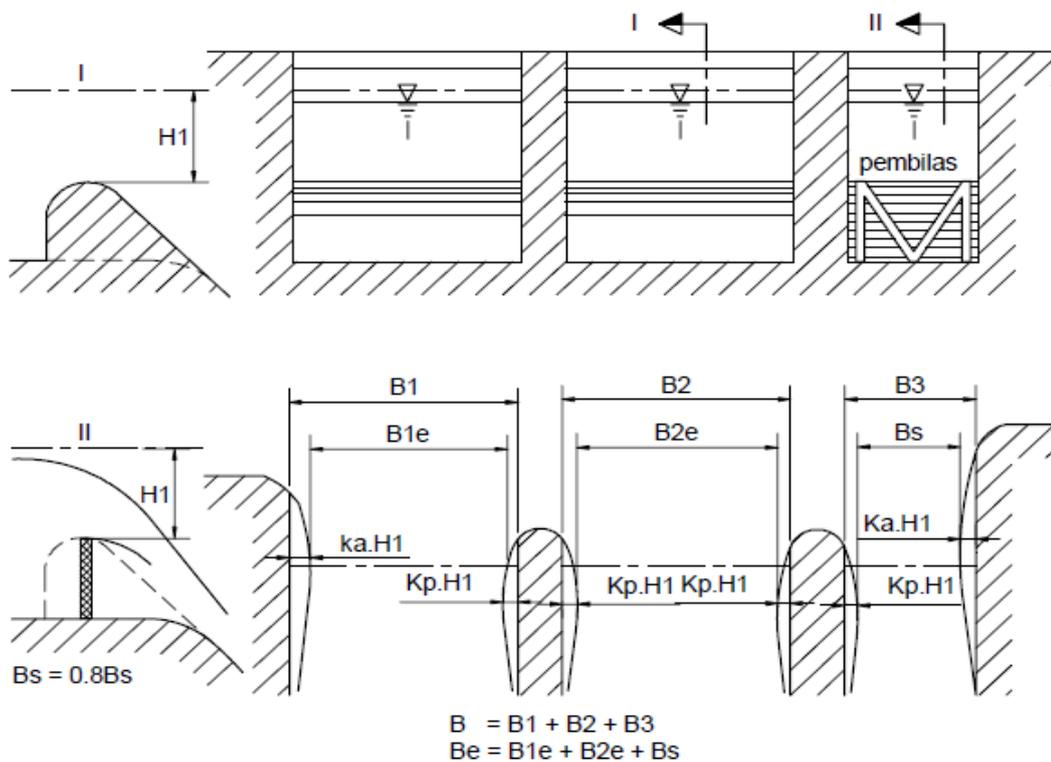
$n$  : jumlah pilar

$K_p$  : koefisien kontraksi pilar

$K_a$  : koefisien kontraksi pangkal bendung

$H_1$  : tinggi energi, m

Harga-harga koefisien  $K_a$  dan  $K_p$  diberikan pada Tabel 3.1.



**Gambar III.1** - Lebar efektif mercu

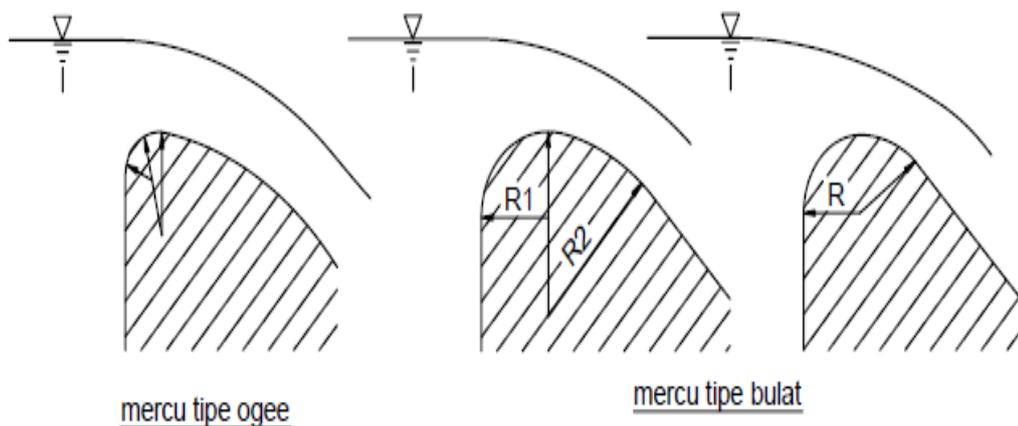
**Tabel 3.1** - Harga-harga koefisien  $K_a$  dan  $K_p$ 

Bentuk Pilar	$K_p$
Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut sudut yang dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
Untuk pilar berujung bulat	0,01
Untuk pilar berujung runcing	0
Bentuk Pangkal Tembok	$K_a$
Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada $90^\circ$ ke arah aliran	0,20
Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada $90^\circ$ ke arah aliran dengan $0,5 H_1 > r > 0,15 H_1$	0,10
Untuk pangkal tembok bulat di mana $r > 0,5 H_1$ dan tembok hulu tidak lebih dari 450 ke arah aliran	0

Dalam memperhitungkan lebar efektif, lebar pembilas yang sebenarnya (dengan bagian depan terbuka) sebaiknya diambil 80% dari lebar rencana untuk mengkompensasi perbedaan koefisiensi debit dibandingkan dengan mercu bendung itu sendiri (lihat Gambar III.1)

### 3.1.1.2 Perencanaan Mercu

Di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe mercu untuk bendung pelimpah : tipe Ogee dan tipe bulat (lihat Gambar III.2).

**Gambar III.2** - Bentuk-bentuk mercu

Kedua bentuk mercu tersebut dapat dipakai baik untuk konstruksi beton maupun pasangan batu atau bentuk kombinasi dari keduanya.

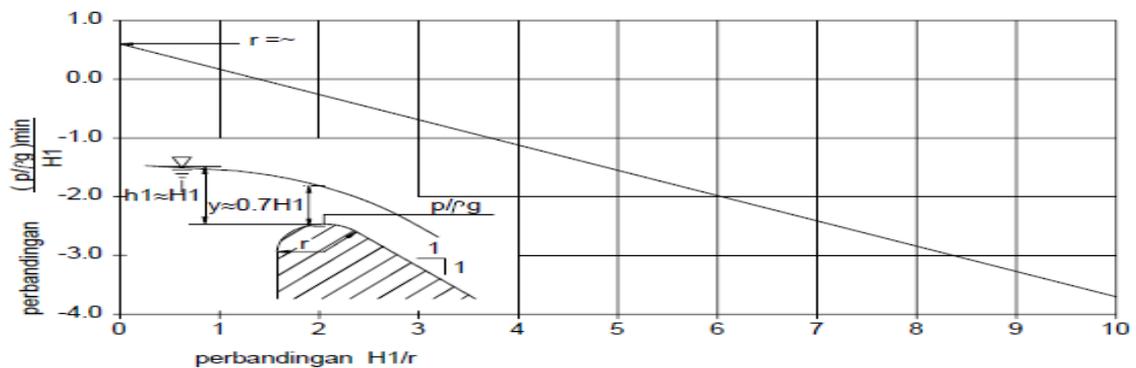
Kemiringan maksimum muka bendung bagian hilir yang dibicarakan di sini berkemiringan 1 banding 1 batas bendung dengan muka hilir vertikal mungkin menguntungkan jika bahan pondasinya dibuat dari batu keras dan tidak diperlukan kolam olak. Dalam hal ini kavitasasi dan aerasi tirai luapan harus diperhitungkan dengan baik.

#### a) Mercu bulat

Bendung dengan mercu bulat (lihat Gambar III.3) memiliki harga koefisiensi debit yang jauh lebih tinggi (44%) dibandingkan dengan koefisiensi bendung ambang lebar. Pada sungai, ini akan banyak memberikan keuntungan karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisiensi debit menjadi lebih tinggi karena lengkung streamline dan tekanan negatif pada mercu.

Tekanan pada mercu adalah fungsi perbandingan antara  $H_1$  dan  $r$  ( $H_1/r$ ) (lihat Gambar III.3). Untuk bendung dengan dua jari-jari ( $R_2$ ) (lihat Gambar III.2), jari-jari hilir akan digunakan untuk menemukan harga koefisien debit.

Untuk menghindari bahaya kavitasasi lokal, tekanan minimum pada mercu bendung harus dibatasi sampai  $-4$  m tekanan air jika mercu terbuat dari beton; untuk pasangan batu tekanan subatmosfir sebaiknya dibatasi sampai  $-1$  m tekanan air.



**Gambar III.3** - Tekanan pada mercu bendung bulat sebagai fungsi perbandingan  $H_1/r$

Dari Gambar III.3 tampak bahwa jari-jari mercu bendung pasangan batu akan berkisar antara 0,3 sampai 0,7 kali  $H_{1\text{maks}}$  dan untuk mercu bendung beton dari 0,1 sampai 0,7 kali  $H_{1\text{maks}}$ .

Persamaan tinggi energi-debit untuk bendung ambang pendek dengan pengontrol segi empat adalah:

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} \cdot b \cdot h^{3/2}$$

di mana:

Q : debit,  $\text{m}^3/\text{dt}$

$C_d$  : koefisien debit ( $C_d = C_0 C_1 C_2$ )

g : percepatan gravitasi,  $\text{m}/\text{dt}^2$  ( $\cong 9,8$ )

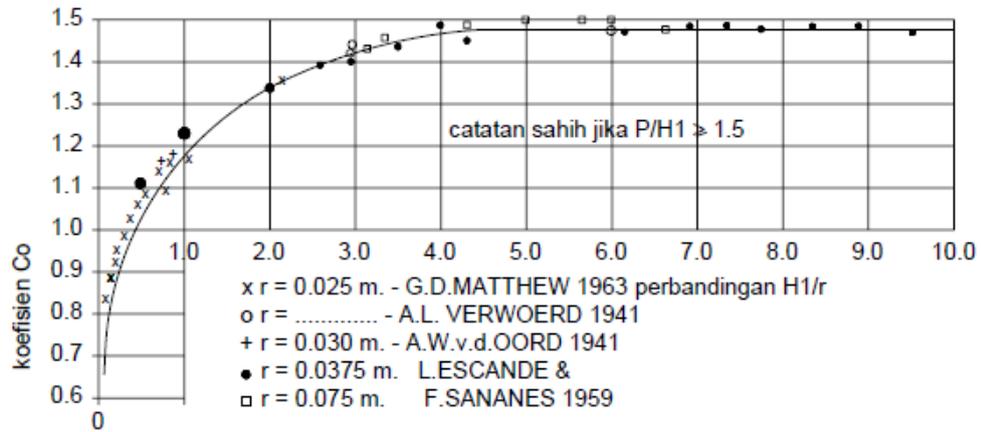
b : panjang mercu, m

$H_1$  : tinggi energi di atas mercu, m.

Koefisien debit  $C_d$  adalah hasil dari:

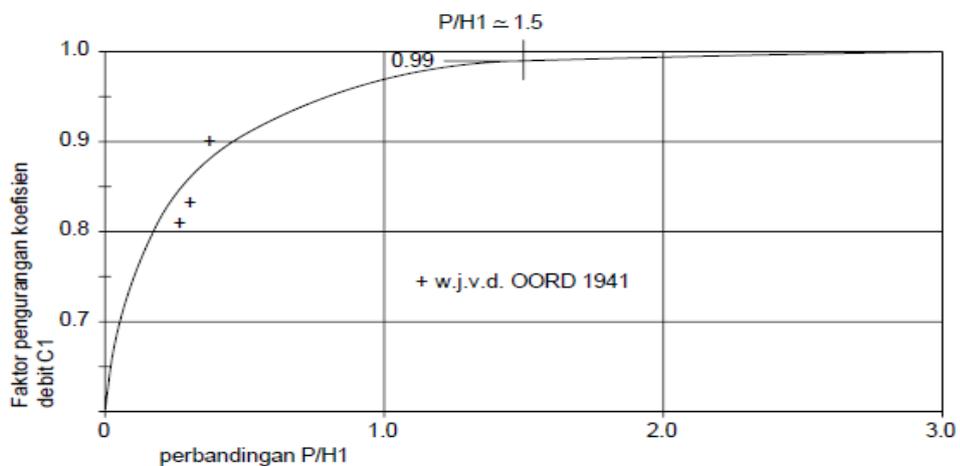
- (1)  $C_0$  yang merupakan fungsi  $H_1/r$  (lihat Gambar III.4)
- (2)  $C_1$  yang merupakan fungsi  $p/H_1$  (lihat Gambar III.5), dan
- (3)  $C_2$  yang merupakan fungsi  $p/H_1$  dan kemiringan muka hulu bendung (lihat Gambar III.6)

$C_0$  mempunyai harga maksimum 1,49 jika  $H_1/r$  lebih dari 5,0 seperti diperlihatkan pada Gambar 4.15. Harga-harga  $C_0$  pada Gambar III.4 sah (valid) apabila mercu bendung cukup tinggi di atas rata-rata alur pengarah ( $p/H_1 \geq$  sekitar 1,5).



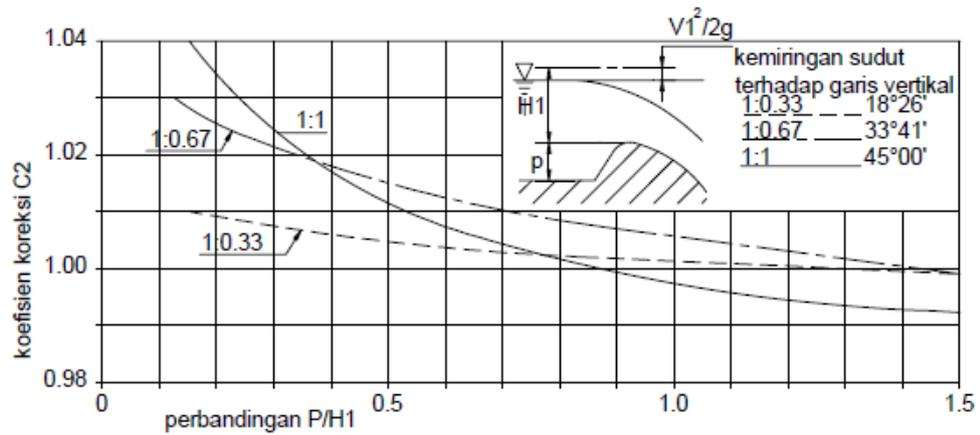
**Gambar III.4** - Harga-harga koefisien  $C_0$  untuk bendung ambang bulat sebagai fungsi perbandingan  $H_1/r$

Dalam tahap perencanaan  $p$  dapat diambil setengah jarak dari mercu sampai dasar rata-rata sungai sebelum bendung tersebut dibuat. Untuk harga-harga  $p/h_1$  yang kurang dari 1,5, maka Gambar III.5 dapat dipakai untuk menemukan faktor pengurangan  $C_1$ .



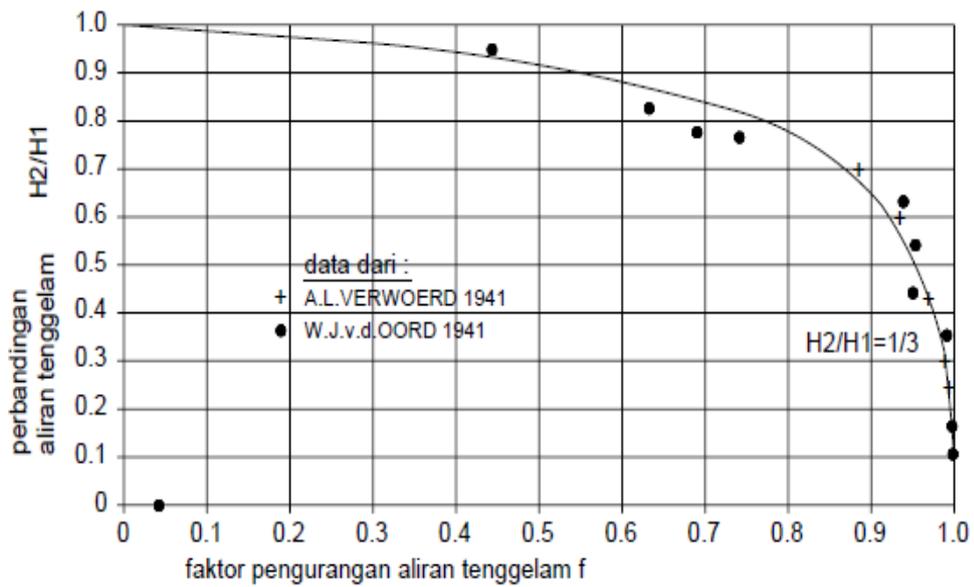
**Gambar III.5** - Koefisien  $C_1$  sebagai fungsi perbandingan  $p/H_1$

Harga-harga koefisien koreksi untuk pengaruh kemiringan muka bendung bagian hulu terhadap debit diberikan pada Gambar III.6. Harga koefisien koreksi,  $C_2$ , diandaikan kurang lebih sama dengan harga faktor koreksi untuk bentuk-bentuk mercu tipe Ogee.



**Gambar III.6** - Harga-harga koefisien  $C_2$  untuk bendung mercu tipe Ogee dengan muka hulu melengkung (menurut USBR, 1960)

Harga-harga faktor pengurangan aliran tenggelam  $f$  sebagai fungsi perbandingan tenggelam dapat diperoleh dari Gambar III.7. Faktor pengurangan aliran tenggelam mengurangi debit dalam keadaan tenggelam.



**Gambar III.7** - Faktor pengurangan aliran tenggelam sebagai fungsi  $H_2/H_1$

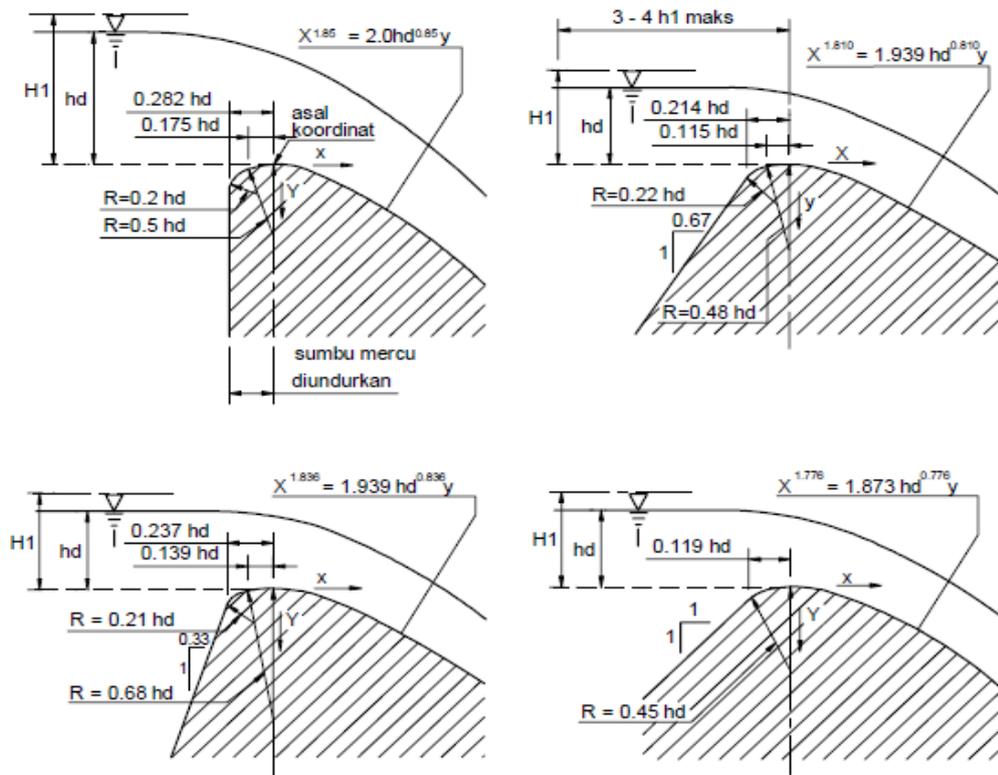
b) Mercuri Ogee

Mercu Ogee berbentuk tirai luapan bawah dari bandung ambang tajam aerasi. Oleh karena itu mercu ini tidak akan memberikan tekanan subatmosfir pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Untuk debit yang lebih rendah, air akan memberikan tekanan ke bawah pada mercu.

Untuk merencanakan permukaan mercu Ogee bagian hilir, U.S. Army Corps of Engineers telah mengembangkan persamaan berikut:

$$\frac{Y}{hd} = \frac{1}{K} \left[ \frac{X}{hd} \right]^n$$

di mana x dan y adalah koordinat-koordinat permukaan hilir (lihat Gambar III.8) dan  $hd$  adalah tinggi energi rencana di atas mercu.



**Gambar III.8** - Bentuk-bentuk bendung mercu Ogee (U.S.Army Corps of Engineers, Waterways Experimental Stasion)

Harga-harga K dan n adalah parameter. Harga-harga ini bergantung kepada kecepatan dan kemiringan permukaan belakang. Tabel 3.2 menyajikan harga-harga K dan n untuk berbagai kemiringan hilir dan kecepatan pendekatan yang rendah.

**Tabel 3.2** - Harga-harga K dan n

Kemiringan per mukaan hilir	K	n
vertikal	2.000	1,850
3 : 1	1,936	1,836
3 : 2	1,939	1,810
1 : 1	1,873	1,776

Bagian hulu mercu bervariasi sesuai dengan kemiringan permukaan hilir (lihat Gambar III.8). Persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bendung mercu Ogee adalah:

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} \cdot b \cdot h^{3/2}$$

di mana:

Q : debit, m<sup>3</sup>/dt

C<sub>d</sub> : koefisien debit (C<sub>d</sub> = C<sub>0</sub>C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>)

g : percepatan gravitasi, m/dt<sup>2</sup> (≅ 9,8)

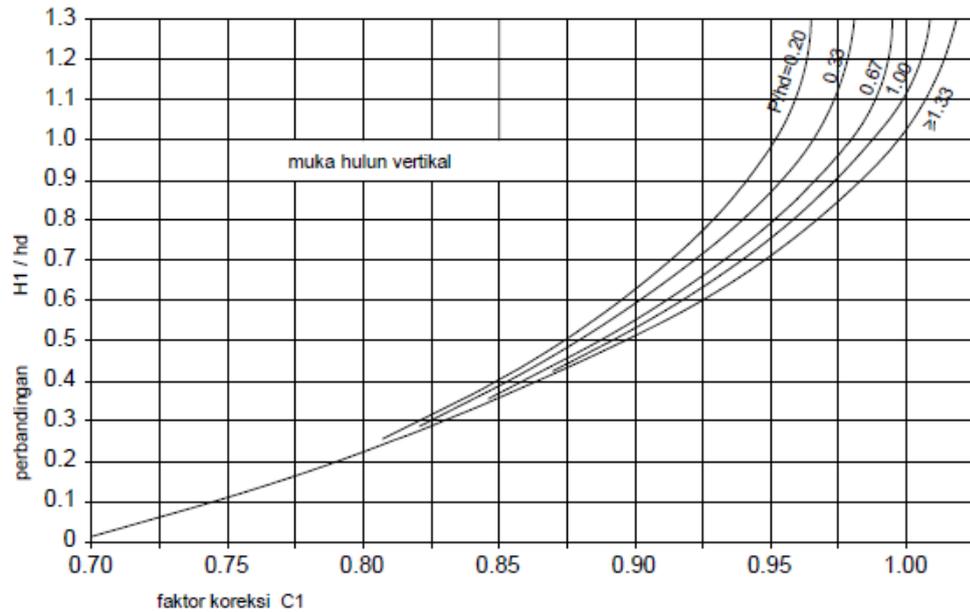
b : lebar mercu, m

H<sub>1</sub> : tinggi energi di atas ambang, m.

Koefisien debit efektif C<sub>e</sub> adalah hasil C<sub>0</sub>, C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub> (C<sub>e</sub> = C<sub>0</sub>C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>).

- C<sub>0</sub> adalah konstanta (= 1,30),
- C<sub>1</sub> adalah fungsi p/h<sub>d</sub> dan H<sub>1</sub>/h<sub>d</sub>' dan
- C<sub>2</sub> adalah faktor koreksi untuk permukaan hulu.

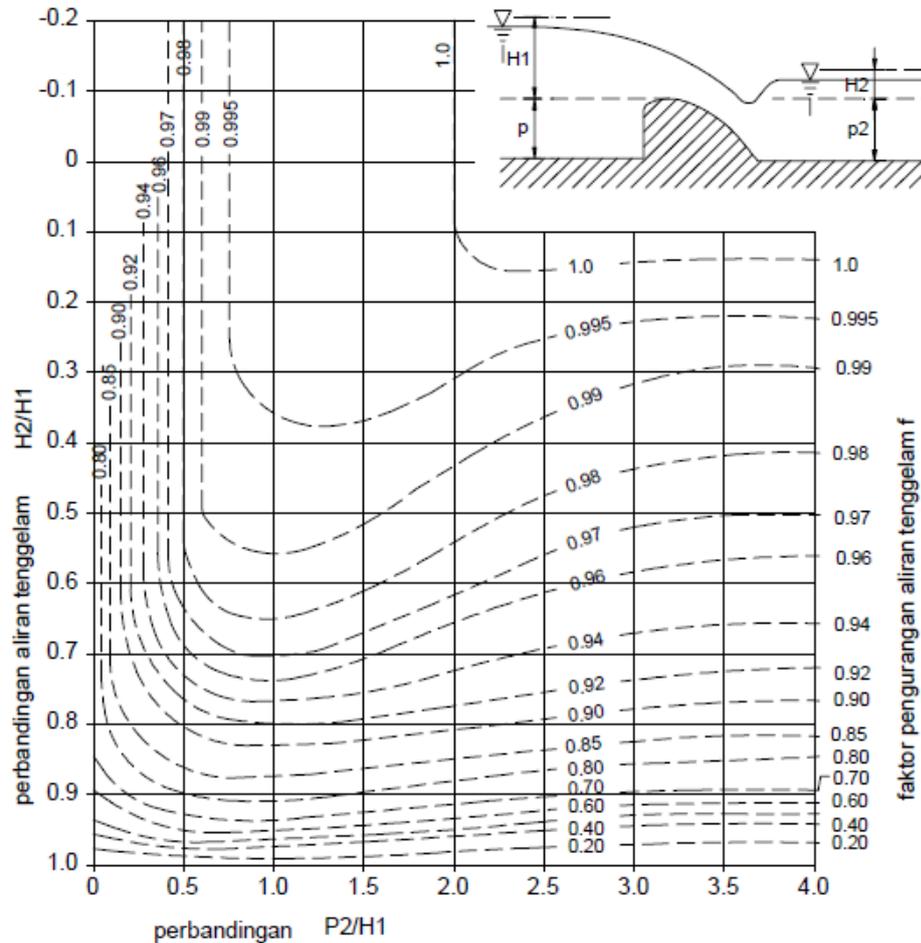
Faktor koreksi  $C_1$  disajikan pada Gambar 4.20 dan sebaiknya dipakai untuk berbagai tinggi bendung di atas dasar sungai. Harga-harga  $C_1$  pada Gambar.20 berlaku untuk bendung mercu Ogee dengan permukaan hulu vertikal.



**Gambar III.9** - Faktor koreksi untuk selain tinggi energi rencana pada bendung mercu Ogee (menurut Ven Te Chow, 1959, berdasarkan data USBR dan WES)

Apabila permukaan bendung bagian hulu miring, koefisien koreksi tanpa dimensi  $C_2$  harus dipakai; ini adalah fungsi baik kemiringan permukaan bendung maupun perbandingan  $p/H_1$ . Harga-harga  $C_2$  dapat diperoleh dari Gambar III.6.

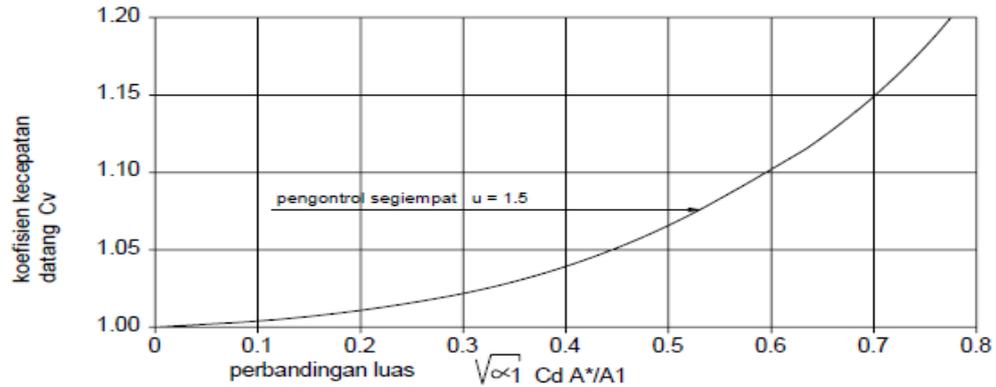
Gambar III.10 menyajikan faktor pengurangan aliran tenggelam  $f$  untuk dua perbandingan: perbandingan aliran tenggelam  $H_2/H_1$  dan  $p_2/H_1$ .



**Gambar III.10** - Faktor pengurangan aliran tenggelam sebagai fungsi  $p_2/H_1$  dan  $H_2/H_1$ . (Disadur dari US Army Corps of Engineers Waterways Experimental Station)

c) Kecepatan datang (approach velocity)

Jika dalam rumus-rumus debit di atas dipakai kedalaman air  $h_1$ , bukan tinggi energi  $H_1$ , maka dapat dimasukkan sebuah koefisien kecepatan datang  $C_v$  ke persamaan debit tersebut. Harga-harga koefisien ini dapat dibaca dari Gambar III.11.



**Gambar III.11** - Harga-harga  $C_v$  sebagai fungsi perbandingan luas  $\alpha_1 C_d A^*/A_1$  untuk bagian pengontrol segi empat (dari Bos, 1977)

Gambar diatas memberikan harga-harga  $C_v$  untuk bendung segi empat sebagai fungsi perbandingan luas.

Perbandingan luas :

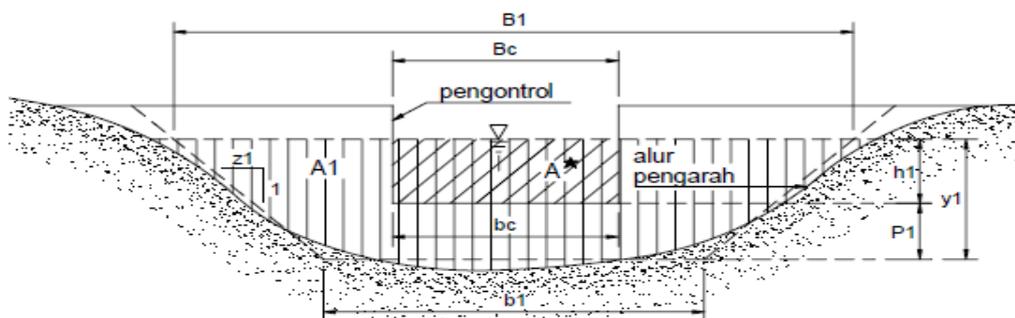
$$\sqrt{\alpha_1} C_d A^*/A_1$$

di mana:

$\alpha_1$  : koefisiensi pembagian/distribusi kecepatan dalam alur pengarah (approach channel). Untuk keperluan-keperluan praktis harga tersebut boleh diandaikan sebagai konstan;  $\alpha = 1,04$

$A_1$  : luas dalam alur pengarah

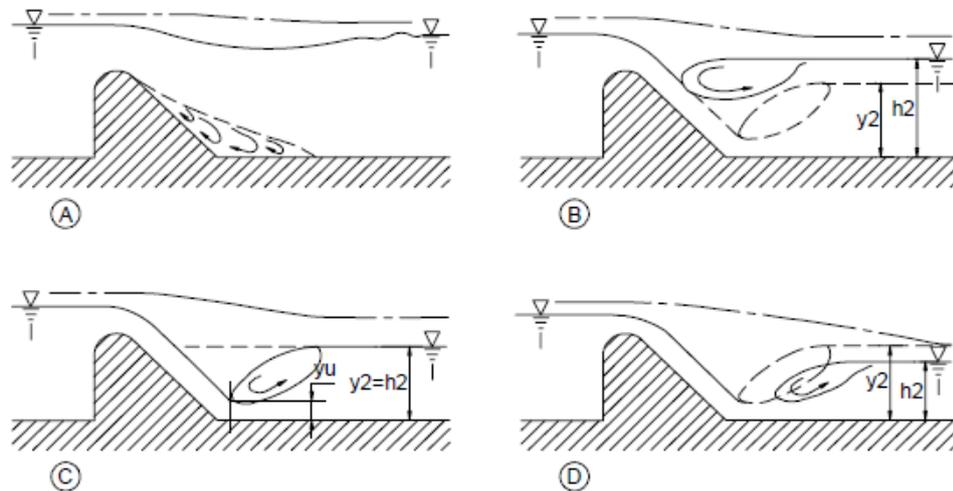
$A^*$  : luas semu potongan melintang aliran di atas mercu bendung jika kedalaman aliran akan sama dengan  $h_1$  (lihat III.12).



**Gambar III.12** - Potongan hulu dan tampak depan pengontrol

### 3.1.1.3 Peredam energi

Aliran di atas bendung di sungai dapat menunjukkan berbagai perilaku di sebelah bendung akibat kedalaman air yang ada  $h_2$ . Gambar 24 menyajikan kemungkinan-kemungkinan yang terjadi dari pola aliran di atas bendung.



**Gambar III.13** - Peredam energi

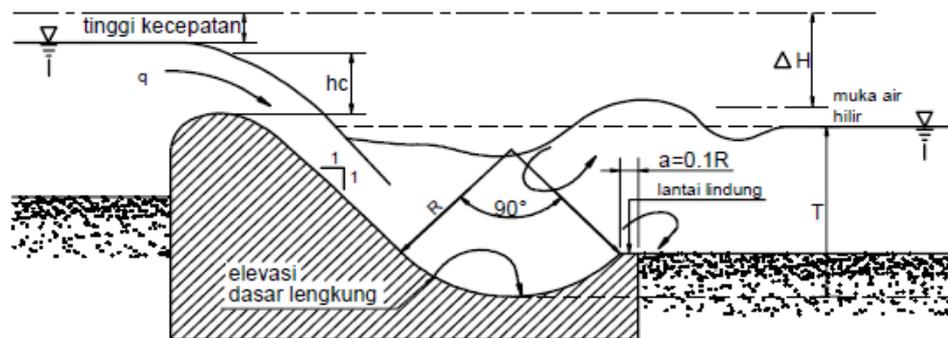
Kasus A menunjukkan aliran tenggelam yang menimbulkan sedikit saja gangguan di permukaan berupa timbulnya gelombang. Kasus B menunjukkan loncatan tenggelam yang lebih diakibatkan oleh kedalaman air hilir yang lebih besar, daripada oleh kedalaman konjugasi. Kasus C adalah keadaan loncat air di mana kedalaman air hilir sama dengan kedalaman konjugasi loncat air tersebut. Kasus D terjadi apabila kedalaman air hilir kurang dari kedalaman konjugasi; dalam hal ini loncatan akan bergerak ke hilir.

Semua tahap ini bisa terjadi di bagian hilir bendung yang di bangun di sungai. Kasus D adalah keadaan yang tidak boleh terjadi, karena loncatan air akan menghempas bagian sungai yang tak terlindungi dan umumnya menyebabkan penggerusan luas.

#### a) Peredam energi tipe bak tenggelam

Jika kedalaman konjugasi hilir dari loncat air terlalu tinggi dibanding kedalaman air normal hilir, atau kalau diperkirakan akan terjadi kerusakan pada lantai kolam yang panjang akibat batu-batu besar yang terangkut

lewat atas bendung, maka dapat dipakai peredam energi yang relatif pendek tetapi dalam. Perilaku hidrolis peredam energi tipe ini terutama bergantung kepada terjadinya kedua pusaran; satu pusaran permukaan bergerak ke arah berlawanan dengan arah jarum jam di atas bak, dan sebuah pusaran permukaan bergerak ke arah putaran jarum jam dan terletak di belakang ambang ujung. Dimensi-dimensi umum sebuah bak yang berjari-jari besar diperlihatkan pada Gambar III.14



**Gambar III.14** - Peredam energi tipe bak tenggelam

Kolam olak tipe bak tenggelam telah digunakan sejak lama dengan sangat berhasil pada bendung-bendung rendah dan untuk bilangan-bilangan Fruode rendah. Parameter-parameter dasar untuk perencanaan tipe bak tenggelam sebagaimana diberikan oleh USBR (Peterka, 1974) sulit untuk diterapkan bagi perencanaan bendung dengan tinggi energi rendah.

Oleh sebab itu, parameter-parameter dasar ini sebagai jari-jari bak, tinggi energi dan kedalaman air telah dirombak kembali menjadi parameter-parameter tanpa dimensi dengan cara membaginya dengan kedalaman kritis.

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

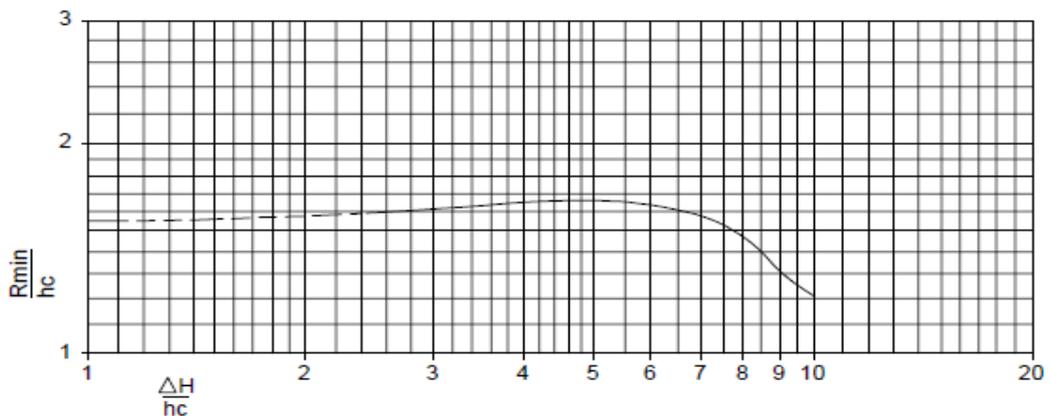
di mana:

$h_c$  : kedalaman air kritis, m

$q$  : debit per lebar satuan, m<sup>3</sup>/dt.m

$g$  : percepatan gravitasi,  $m/dt^2$  ( $\cong 9,8$ )

Jari-jari minimum bak yang diizinkan ( $R_{min}$ ) diberikan pada Gambar III.15, di mana garis menerus adalah garis asli dari kriteria USBR. Di bawah  $\Delta H/h_c = 2,5$  USBR tidak memberikan hasil-hasil percobaan. Sejauh ini penyelidikan dengan model yang dilakukan oleh IHE menunjukkan bahwa garis putus-putus Gambar ini menghasilkan kriteria yang bagus untuk jari-jari minimum bak yang diizinkan bagi bangunan-bangunan dengan tinggi energi rendah ini.



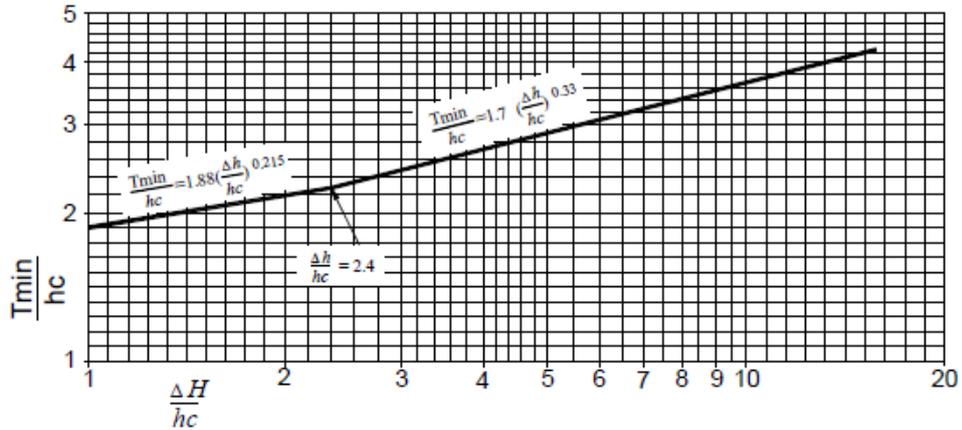
**Gambar III.15** - Jari-jari minimum bak

Batas minimum tinggi air hilir ( $T_{min}$ ) diberikan pada Gambar III.16. Untuk  $\Delta H/h_c$  di atas 2,4 garis tersebut merupakan “envelope” batas tinggi air hilir yang diberikan oleh USBR bagi batas minimum tinggi air hilir (bak bercelah), “sweep-out limit”, batas minimum tinggi air hilir yang dipengaruhi oleh jari-jari bak dan batas tinggi air hilir untuk bak tetap.

Di bawah  $\Delta H/h_c = 2,4$  garis tersebut menggambarkan kedalaman konjugasi suatu loncat air. Dengan pertimbangan bahwa kisaran harga  $\Delta H/h_c$  yang kurang dari 2,4 berada di luar jangkauan percobaan USBR, maka diputuskanlah untuk mengambil kedalaman konjugasi sebagai kedalaman minimum air hilir dari bak untuk harga  $\Delta H/h_c$  yang lebih kecil dari 2,4.

Pengalaman telah menunjukkan bahwa banyak bendung rusak akibat gerusan lokal yang terjadi tepat di sebelah hilirnya dan kadang-kadang

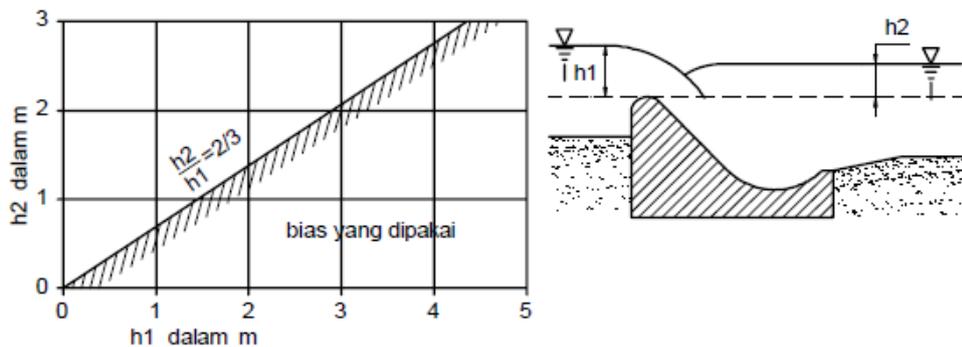
kerusakan ini diperparah lagi oleh degradasi dasar sungai. Oleh karena itu, dianjurkan untuk menentukan kedalaman air hilir berdasarkan perkiraan degradasi dasar sungai yang akan terjadi di masa datang.



**Gambar III.16** - Batas minimum tinggi air hilir

Dari penyelidikan model terhadap bak tetap, IHE menyimpulkan bahwa pengaruh kedalaman tinggi air hilir terhadap bekerjanya bak sebagai peredam enegi, ditentukan oleh perbandingan  $h_2/h_1$  (lihat Gambar III.18).

Jika  $h_2/h_1$  lebih tinggi dari  $2/3$ , maka aliran akan menyelam ke dalam bak dan tidak ada efek peredaman yang bisa diharapkan.



**Gambar III.17** - Batas maksimum tinggi air hilir 1

Persamaan yang digunakan untuk menghitung local scouring depth yang terjadi dibelakang bendung, diantaranya:

$$R = 1,34 (q^2/f)^{1/3}$$

$$q = Q_d / B_e f$$

$$f = 1,76 \sqrt{mr}$$

dimana

mr : diameter butir material dasar rata-rata  $\approx 0,25$  mm

Tebal kolam peredam energi yang diperlukan, dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$d \times S. (P_x - W_x) / g$$

Keterangan : lihat KP-02 halaman 123

Untuk menentukan panjang lantai muka bisa menggunakan teori Lane yang menyatakan bahwa:  $LV + Lh/3 > \Delta H.C$ , dimana  $\Delta H$ , adalah perbedaan tekanan di hulu dengan di hilir bendung.

Perlunya ketaatan dan konsistensi dalam menerapkan standar kriteria perencanaan untuk perancangan bendung, serta kecermatan dan ketelitian dalam merancang bendung berdasarkan kondisi tanah dan debit banjir rencana.

### 3.2 Analisis Kontrol Stabilitas Tubuh Bendung

Kontrol stabilitas tubuh bendung dianalisis terhadap gaya-gaya yang timbul dengan berpedoman pada standar criteria perencanaan Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan bendung dan mempunyai arti penting dalam perencanaan adalah:

- a) tekanan air
- b) tekanan lumpur (sediment pressure)
- c) gaya gempa
- d) berat bangunan
- e) reaksi pondasi.

#### 3.2.1 Tekanan air

Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatis dan gaya hidrodinamik. Tekanan hidrostatis adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air.

Tekanan air akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan. Oleh sebab itu agar perhitungannya lebih mudah, gaya horisontal dan vertikal dikerjakan secara terpisah. Tekanan air dinamik jarang diperhitungkan untuk stabilitas bangunan bendung dengan tinggi energi rendah.

Gaya tekan ke atas. Bangunan bendung mendapat tekanan air bukan hanya pada permukaan luarnya, tetapi juga pada dasarnya dan dalam tubuh bangunan itu. Gaya tekan ke atas, yakni istilah umum untuk tekanan air dalam, menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan di atasnya. Rumus gaya tekan ke atas untuk bangunan yang didirikan pada pondasi batuan adalah (lihat Gambar III.18):

$$W_u = c \gamma_w [h_2 + \frac{1}{2} \xi (h_1 - h_2)] A$$

dimana:

$c$  : proporsi luas di mana tekanan hidrostatik bekerja ( $c = 1$ , untuk semua tipe pondasi)

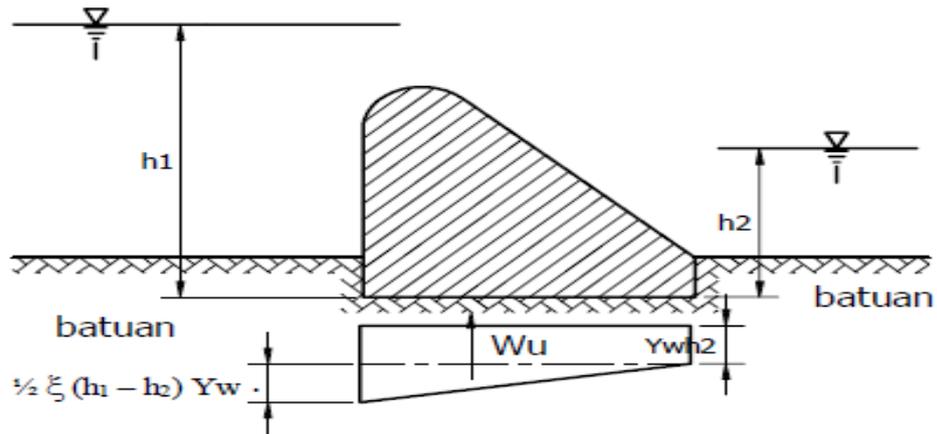
$\gamma_w$  : berat jenis air,  $\text{kN/m}^3$

$h_2$  : kedalaman air hilir, m

$\xi$  : proporsi tekanan (proportion of net head)  $h_1$  : kedalaman air hulu, m

$A$  : luas dasar,  $\text{m}^2$

$W_u$  : gaya tekan ke atas resultante, Kn



**Gambar III.18** - Gaya angkat untuk bangunan yang dibangun pada pondasi buatan

**Tabel 3.3** - Harga-harga  $\xi$

Tipe pondasi batuan	$\xi$ (proporsi tekanan)
berlapis horisontal	1,00
sedang, pejal (massive)	0,67
baik, pejal	0,50

### 3.2.2 Tekanan lumpur

Tekanan lumpur yang bekerja terhadap muka hulu bendung atau terhadap pintu dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_s = \frac{\tau_s h^2}{2} \left( \frac{1 - \sin \vartheta}{1 + \sin \vartheta} \right)$$

dimana:

$P_s$  : gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horisontal

$\tau_s$  : berat lumpur, kN

$h$  : dalamnya lumpur, m

$\Phi$  : sudut gesekan dalam, derajat.

Beberapa andaian/asumsi dapat dibuat seperti berikut:

$$\tau_s = \tau_s' \frac{G-1}{G}$$

dimana:

$\tau_s'$  = berat volume kering tanah  $\approx 16 \text{ kN/m}^3$  ( $\approx 1.600 \text{ kgf/m}^3$ )

$\lambda$  = berat volume butir = 2,65

menghasilkan  $\tau_s = 10 \text{ kN/m}^3$  ( $\approx 1.000 \text{ kgf/m}^3$ )

Sudut gesekan dalam, yang bisa diandaikan  $30^\circ$  untuk kebanyakan hal, menghasilkan:  $P_s = 1,67 h^2$

### 3.2.3 Gaya gempa

Harga-harga gaya gempa diberikan dalam bagian Parameter Bangunan. Harga-harga tersebut didasarkan pada peta Indonesia yang menunjukkan berbagai daerah dan risiko. Faktor minimum yang akan dipertimbangkan adalah 0,1 g perapatan gravitasi sebagai harga percepatan. Faktor ini hendaknya dipertimbangkan dengan cara mengalikannya dengan massa bangunan sebagai gaya horisontal menuju ke arah yang paling tidak aman, yakni arah hilir.

### 3.2.4 Berat bangunan

Berat bangunan bergantung kepada bahan yang dipakai untuk membuat bangunan itu. Untuk tujuan-tujuan perencanaan pendahuluan, boleh dipakai harga-harga berat volume di bawah ini.

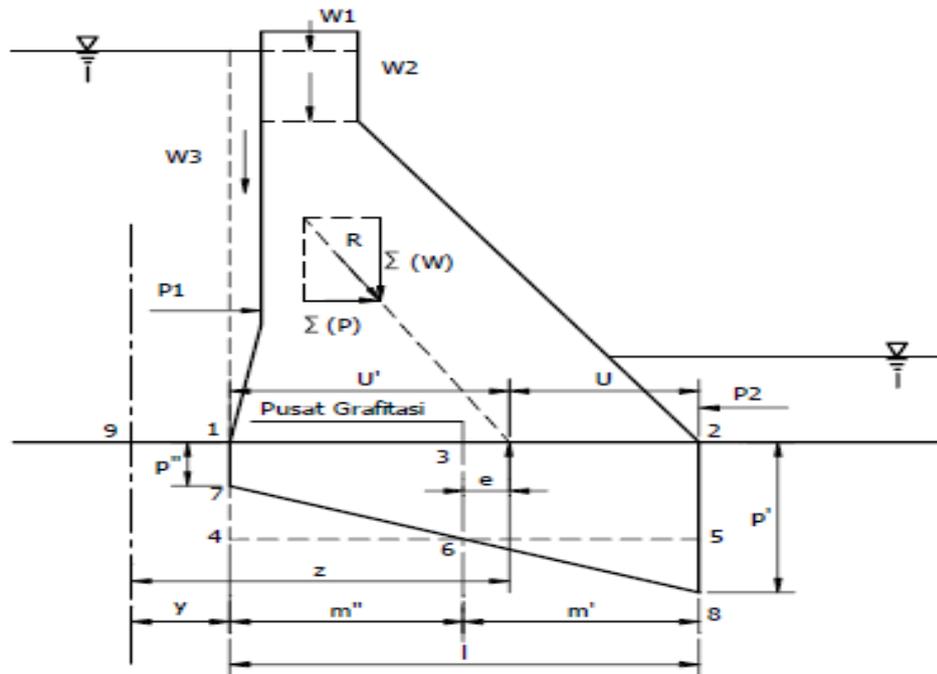
- 1) pasangan batu  $22 \text{ kN/m}^3$  ( $\approx 2.200 \text{ kgf/m}^3$ )
- 2) beton tumbuk  $23 \text{ kN/m}^3$  ( $\approx 2.300 \text{ kgf/m}^3$ )
- 3) beton bertulang  $24 \text{ kN/m}^3$  ( $\approx 2.400 \text{ kgf/m}^3$ )

Berat volume beton tumbuk bergantung kepada berat volume agregat serta ukuran maksimum kerikil yang digunakan.

Untuk ukuran maksimum agregat 150 mm dengan berat volume 2,65, berat volumenya lebih dari  $24 \text{ kN/m}^3 (\approx 2.400 \text{ kgf/m}^3)$ .

### 3.2.5 Reaksi Pondasi

Reaksi pondasi boleh diandaikan berbentuk trapesium dan tersebar secara linier.



**Gambar III.19** - Unsur-unsur persamaan distribusi tekanan pada pondasi

Mengacu pada Gambar 6.8, rumus-rumus berikut dapat diturunkan dengan mekanika sederhana.

Tekanan vertikal pondasi adalah:

$$p = \frac{\Sigma(W)}{A} + \frac{\Sigma(W)e}{I} m$$

dimana:

$p$  : tekanan vertikal pondasi

$\Sigma(W)$  : keseluruhan gaya vertikal, termasuk tekanan ke atas, tetapi tidak termasuk reaksi pondasi.

A : luas dasar, m<sup>2</sup>

e : eksentrisitas pembebanan, atau jarak dari pusat gravitasi dasar (base) sampai titik potong resultante dengan dasar

I : momen kelembaban (moment of inertia) dasar di sekitar pusat gravitasi

m : jarak dari titik pusat luas dasar sampai ke titik di mana tekanan dikehendaki

Untuk dasar segi empat dengan panjang  $\ell$  dan lebar 1,0 m,  $I = \ell^3/12$  dan  $A = 1$ , rumus tadi menjadi:

$$p = \frac{\Sigma(W)}{A} \left\{ 1 + \frac{12e}{\ell^2} m \right\}$$

sedangkan tekanan vertikal pondasi pada ujung bangunan ditentukan dengan rumus:

$$p' = \frac{\Sigma(W)}{B} \left\{ 1 + \frac{6e}{B} \right\}$$

dengan  $m' = m'' = \frac{1}{2} \ell$

$$p'' = \frac{\Sigma(W)}{B} \left\{ 1 + \frac{6e}{B} \right\}$$

Bila harga e dari Gambar III.19 dan persamaan (6.12) lebih besar dari 1/6 (lihat pula Gambar III.19), maka akan dihasilkan tekanan negatif pada ujung bangunan. Biasanya tarikan tidak diizinkan, yang memerlukan irisan yang mempunyai dasar segi empat sehingga resultante untuk semua kondisi pembebanan jatuh pada daerah inti.

### 3.3 Kebutuhan Stabilitas

Ada tiga penyebab runtuhnya bangunan gravitasi, yaitu:

1) gelincir (sliding)

(a) sepanjang sendi horisontal atau hampir horisontal di atas pondasi

- (b) sepanjang pondasi, atau
- (c) sepanjang kampuh horisontal atau hampir horisontal dalam pondasi.

- 2) guling (overturning)
  - (a) di dalam bendung
  - (b) pada dasar (base), atau
  - (c) pada bidang di bawah dasar.
- 3) erosi bawah tanah (piping).

### 3.3.1 Ketahanan terhadap gelincir

Tangen  $\theta$ , sudut antara garis vertikal dan resultante semua gaya, termasuk gaya angkat, yang bekerja pada bendung di atas semua bidang horisontal, harus kurang dari koefisien gesekan yang diizinkan pada bidang tersebut.

$$\frac{\Sigma(H)}{\Sigma(V-U)} = \tan \theta < \frac{f}{S}$$

dimana:

$\Sigma(H)$  : keseluruhan gaya horizontal yang bekerja pada bangunan, kN

$\Sigma(V-U)$  : keseluruhan gaya vertikal (V), dikurangi gaya tekan ke atas yang bekerja pada bangunan, kN

$\theta$  : sudut resultante semua gaya, terhadap garis vertikal, derajat

f : koefisien gesekan

S : faktor keamanan

Harga-harga perkiraan untuk koefisien gesekan f diberikan pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 - Harga-harga perkiraan untuk koefisien gesekan

Bahan	f
Pasangan batu pada pasangan batu	0,60 – 0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,50
Pasir	0,40
Lempung	0,30

Untuk bangunan-bangunan kecil, seperti bangunan-bangunan yang dibicarakan di sini, di mana berkurangnya umur bangunan, kerusakan besar dan terjadinya bencana besar belum dipertimbangkan, harga-harga faktor keamanan (S) yang dapat diterima adalah: 2,0 untuk kondisi pembebanan normal dan 1,25 untuk kondisi pembebanan ekstrem.

Kondisi pembebanan ekstrem dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Tak ada aliran di atas mercu selama gempa, atau
- 2) Banjir rencana maksimum.

Apabila, untuk bangunan-bangunan yang terbuat dari beton, harga yang aman untuk faktor gelincir yang hanya didasarkan pada gesekan saja (persamaan 6.14) ternyata terlampaui, maka bangunan bisa dianggap aman jika faktor keamanan dari rumus itu yang mencakup geser (persamaan 6.15), sama dengan atau lebih besar dari harga-harga faktor keamanan yang sudah ditentukan.

$$\Sigma(H) \leq \frac{f \Sigma(V-U) + cA}{S}$$

dimana:

c : satuan kekuatan geser bahan, kN/m<sup>2</sup>

A : luas dasar yang dipertimbangkan, m<sup>2</sup>

arti simbol-simbol lain seperti pada persamaan 6.14.

Harga-harga faktor keamanan jika geser juga dicakup, sama dengan harga-harga yang hanya mencakup gesekan saja, yakni 2,0 untuk kondisi normal dan 1,25 untuk kondisi ekstrem. Untuk beton,  $c$  (satuan kekuatan geser) boleh diambil  $1.100 \text{ kN/m}^2$  ( $= 110 \text{ Tf/m}^2$ )

Persamaan 6.15 mungkin hanya digunakan untuk bangunan itu sendiri. Kalau rumus untuk pondasi tersebut akan digunakan, perencana harus yakin bahwa itu kuat dan berkualitas baik berdasarkan hasil pengujian. Untuk bahan pondasi nonkohesi, harus digunakan rumus yang hanya mencakup gesekan saja (persamaan 6.14).

### 3.3.2 Guling

Agar bangunan aman terhadap guling, maka resultante semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horisontal, termasuk gaya angkat, harus memotong bidang ini pada teras. Tidak boleh ada tarikan pada bidang irisan mana pun.

Besarnya tegangan dalam bangunan dan pondasi harus tetap dipertahankan pada harga-harga maksimal yang dianjurkan. Untuk pondasi, harga-harga daya dukung yang disebutkan dalam Tabel 6.1 bisa digunakan. Harga-harga untuk beton adalah sekitar  $4,0 \text{ N/mm}^2$  atau  $40 \text{ kgf/cm}^2$ , pasangan batu sebaiknya mempunyai kekuatan minimum  $1,5$  sampai  $3,0 \text{ N/mm}^2$  atau  $15$  sampai  $30 \text{ kgf/cm}^2$ .

Tiap bagian bangunan diandaikan berdiri sendiri dan tidak mungkin ada distribusi gaya-gaya melalui momen lentur (bending moment). Oleh sebab itu, tebal lantai kolam olak dihitung sebagai berikut (lihat Gambar III.20):

$$d_x \geq S \frac{P_x - W_x}{\tau}$$

dimana:

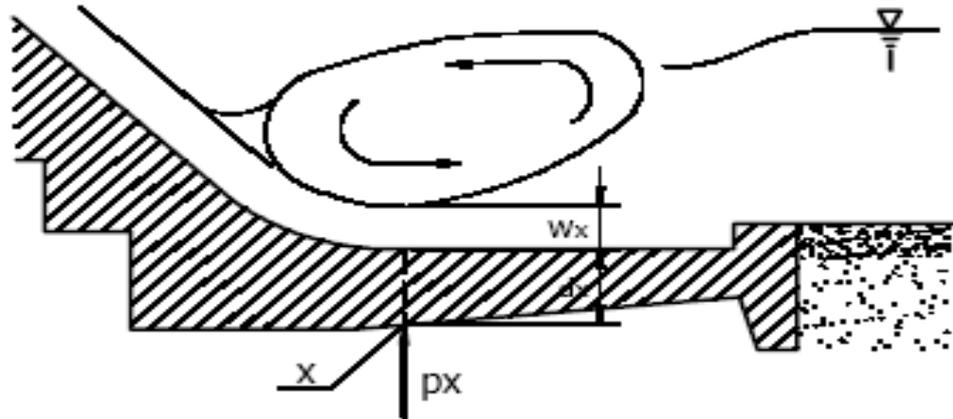
$d_x$  : tebal lantai pada titik  $x$ , m

$P_x$  : gaya angkat pada titik  $x$ ,  $\text{kg/m}^2$

$W_x$  : kedalaman air pada titik x, m

$\gamma$  : berat jenis bahan,  $\text{kg/m}^3$

S : faktor keamanan (= 1,5 untuk kondisi normal, 1,25 untuk kondisi ekstrem)



**Gambar III.20** - Tebal lantai kolam olak

### 3.3.3 Stabilitas terhadap erosi bawah tanah (piping)

Bangunan-bangunan utama seperti bendung dan bendung gerak harus dicek stabilitasnya terhadap erosi bawah tanah dan bahaya runtuh akibat naiknya dasar galian (heave) atau rekahnya pangkal hilir bangunan.

Bahaya terjadinya erosi bawah tanah dapat dianjurkan dicek dengan jalan membuat jaringan aliran/flownet (lihat pasal 6.4.2). Dalam hal ditemui kesulitan berupa keterbatasan waktu pengerjaan dan tidak tersedianya perangkat lunak untuk menganalisa jaringan aliran, maka perhitungan dengan beberapa metode empiris dapat diterapkan, seperti:

- 1) Metode Bligh
- 2) Metode Lane
- 3) Metode Koshia.

Metode Lane, disebut metode angka rembesan Lane (weighted creep ratio method), adalah yang dianjurkan untuk mengecek bangunan-bangunan utama untuk mengetahui adanya erosi bawah tanah. Metode ini memberikan hasil yang aman dan mudah dipakai. Untuk bangunan-bangunan yang relatif kecil,

metode-metode lain mungkin dapat memberikan hasil-hasil yang lebih baik, tetapi penggunaannya lebih sulit.

Metode Lane diilustrasikan pada Gambar III.21 dan memanfaatkan Tabel 3.5. Metode ini membandingkan panjang jalur rembesan di bawah bangunan di sepanjang bidang kontak bangunan/pondasi dengan beda tinggi muka air antara kedua sisi bangunan.

Di sepanjang jalur perkolasi ini, kemiringan yang lebih curam dari 45° dianggap vertikal dan yang kurang dari 45° dianggap horisontal. Jalur vertikal dianggap memiliki daya tahan terhadap aliran 3 kali lebih kuat daripada jalur horisontal. Oleh karena itu, rumusnya adalah:

$$C_L = \frac{\Sigma L_v + 1/3 \Sigma L_H}{H}$$

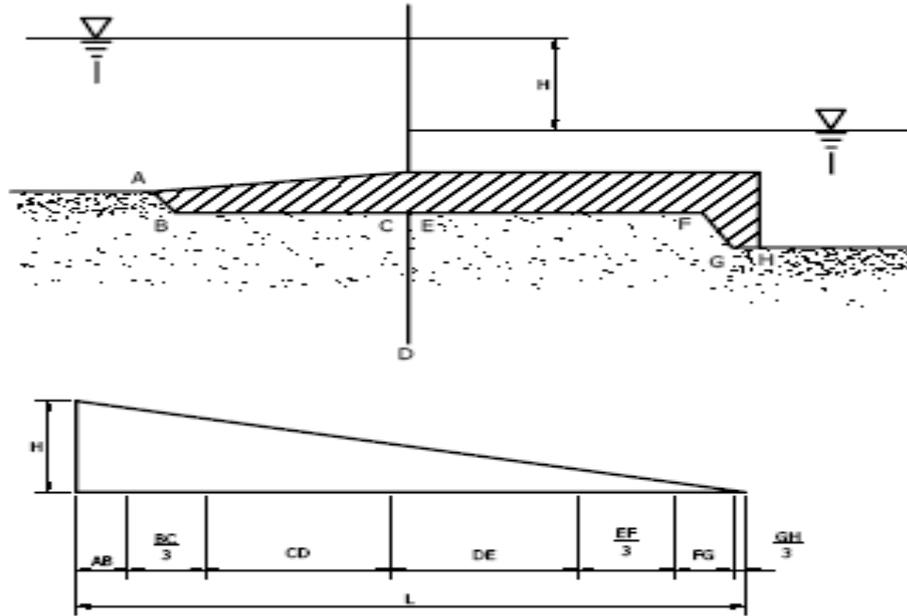
dimana:

$C_L$  : Angka rembesan Lane (lihat Tabel 6.5)

$\Sigma L_v$  : jumlah panjang vertikal, m

$\Sigma L_H$  : jumlah panjang horisontal, m

$H$  : beda tinggi muka air, m



**Gambar III.21** - Metode angka rembesan Lane  
**Tabel 3.5** - Harga-harga minimum angka rembesan Lane ( $C_L$ )

Pasir sangat halus atau lanau	8,5
Pasir halus	7,0
Pasir sedang	6,0
Pasir kasar	5,0
Kerikil halus	4,0
Kerikil sedang	3,5
Kerikil kasar termasuk berangkal	3,0
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5
Lempung lunak	3,0
Lempung sedang	2,0
Lempung keras	1,8
Lempung sangat keras	1,6

Angka-angka rembesan pada Tabel 6.5 di atas sebaiknya dipakai:

- a) 100% jika tidak dipakai pembuang, tidak dibuat jaringan aliran dan tidak dilakukan penyelidikan dengan model;
- b) 80% kalau ada pembuangan air, tapi tidak ada penyelidikan maupun jaringan aliran;

c) 70% bila semua bagian tercakup.

Menurut Creagen, Justin dan Hinds, hal ini menunjukkan diperlukannya keamanan yang lebih besar jika telah dilakukan penyelidikan detail.

Untuk mengatasi erosi bawah tanah elevasi dasar hilir harus diasumsikan pada pangkal koperan hilir. Untuk menghitung gaya tekan ke atas, dasar hilir diasumsikan di bagian atas ambang ujung.

Keamanan terhadap rekah bagian hilir bangunan bisa dicek dengan rumus berikut:

$$S = \frac{s(1+a/s)}{h_s}$$

dimana:

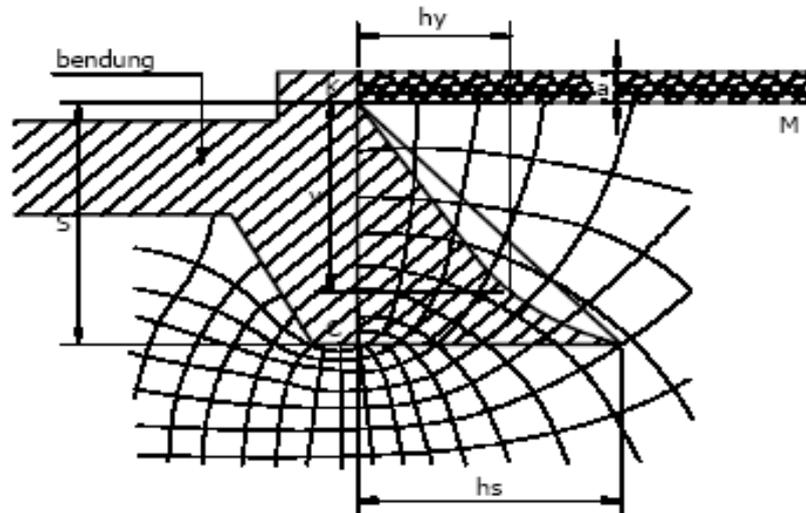
S : faktor keamanan

s : kedalaman tanah, m

a : tebal lapisan pelindung, m

$h_s$  : tekanan air pada kedalaman s, kg/m<sup>2</sup>

Gambar III.22 memberikan penjelasan simbol-simbol yang digunakan. Tekanan air pada titik C dapat ditemukan dari jaringan aliran atau garis angka rembesan Lane. Rumus di atas mengandaikan bahwa volume tanah di bawah air dapat diambil 1 ( $\gamma_w = \gamma_s = 1$ ). Berat volume bahan lindung di bawah air adalah 1. Harga keamanan S sekurang-kurangnya 2.



**Gambar III.22** - Ujung hilir bangunan; sketsa parameter-parameter stabilitas

Jika kontrol terhadap geser tidak aman, maka yang menjadi penyebabnya adalah tubuh bendung tergeser, artinya gaya yang bekerja secara horizontal lebih besar dari gaya gesek, dimana gaya gesek merupakan perkalian dari jumlah gaya vertikal dikali dengan koefisien gesek, atau

$$F = \mu \cdot \Sigma V$$

Jika kontrol terhadap geser tidak aman, maka salah satu cara yang harus dilakukan untuk mengatasinya adalah dengan membuat bobot tubuh menjadi lebih besar artinya dimensi tubuh bendung diperbesar. Misalnya dengan merubah kemiringan tubuh bendung bagian muka.

Perlunya ketaatan dan konsistensi dalam menerapkan standar kriteria perencanaan untuk analisis stabilitas tubuh bendung, serta kecermatan dalam menganalisis kontrol stabilitas tubuh bendung.

### 3.4 Bangunan Pelengkap Bendung

Bangunan pelengkap bendung dirancang sesuai kebutuhan dan fungsi dengan berpijak pada pedoman kriteria perencanaan.

Jenis bangunan pelengkap yang terdapat pada bendung, diantaranya:

- a) Bangunan pengambilan
- b) Bangunan pembilas

- c) Kantong Lumpur
- d) Bangunan pelindung

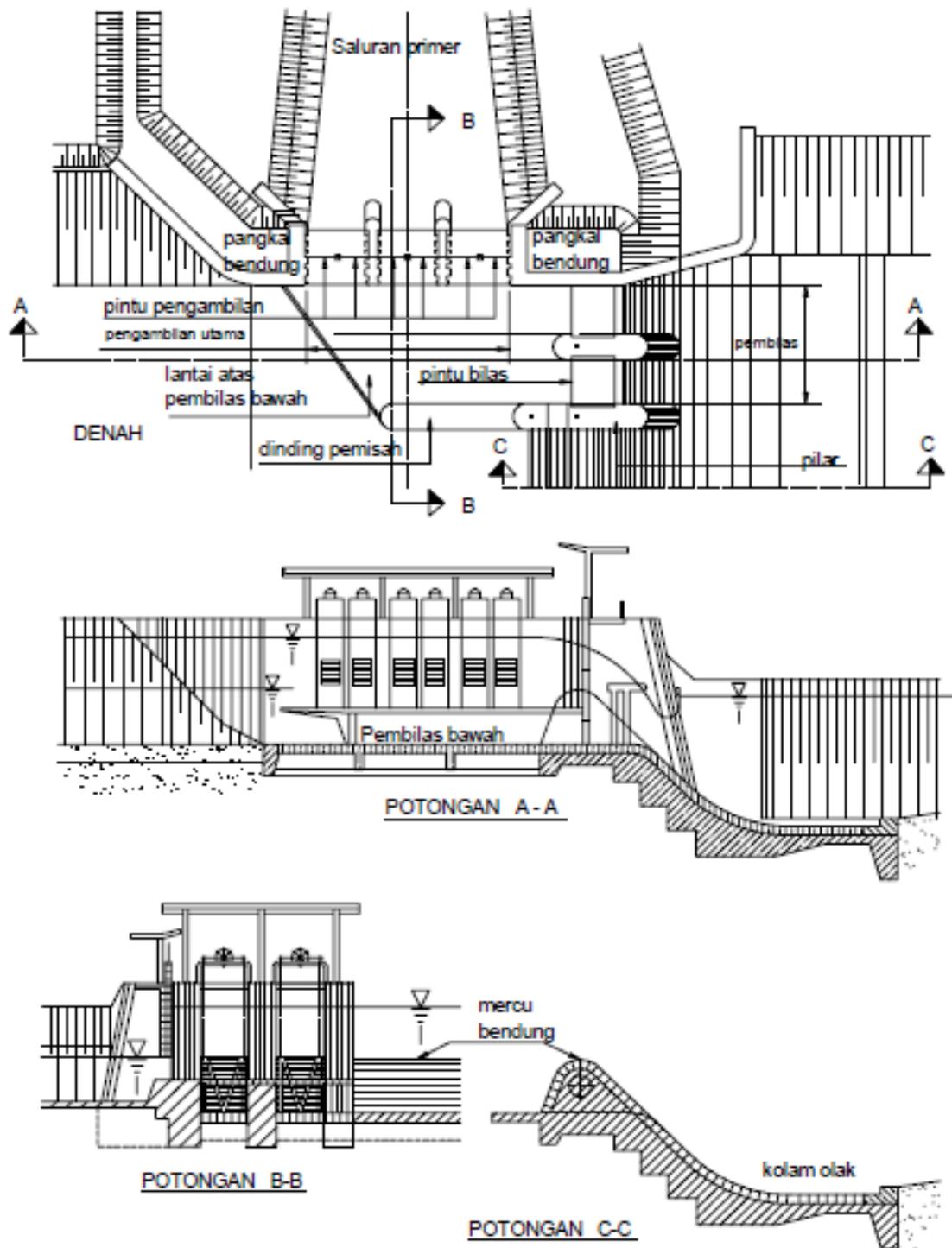
### **3.4.1 Bangunan Pengambilan**

Bangunan pengambilan berfungsi untuk mengelakkan air dari sungai dalam jumlah yang diinginkan dan bangunan pembilas berfungsi untuk mengurangi sebanyak mungkin benda-benda terapung dan fraksi-fraksi sedimen kasar yang masuk ke jaringan saluran irigasi.

Pengambilan sebaiknya dibuat sedekat mungkin dengan pembilas dan as bendung atau bendung gerak. Lebih disukai jika pengambilan ditempatkan di ujung tikungan luar sungai atau pada ruas luar guna memperkecil masuknya sedimen.

Bila dengan bendung pelimpah air harus diambil untuk irigasi di kedua sisi sungai, maka pengambilan untuk satu sisi (kalau tidak terlalu besar) bisa dibuat pada pilar pembilas, dan airnya dapat dialirkan melalui siphon dalam tubuh bendung ke sisi lainnya (lihat juga Gambar III.34).

Dalam kasus lain, bendung dapat dibuat dengan pengambilan dan pembilas di kedua sisi. Kadang-kadang tata letak akan dipengaruhi oleh kebutuhan akan jembatan. Dalam hal ini mungkin kita terpaksa menyimpang dari kriteria yang telah ditetapkan.



**Gambar III.23** - Bangunan pengambilan dan pembilas

Adalah penting untuk merencanakan dinding sayap dan dinding pengarah, sedemikian rupa sehingga dapat sebanyak mungkin dihindari dan aliran menjadi mulus. Pada umumnya ini berarti bahwa lengkung-lengkung dapat diterapkan dengan jari-jari minimum  $\frac{1}{2}$  kali kedalaman air.

Pembilas pengambilan dilengkapi dengan pintu dan bagian depannya terbuka untuk menjaga jika terjadi muka air tinggi selama banjir, besarnya bukaan pintu bergantung kepada kecepatan aliran masuk yang diizinkan. Kecepatan ini bergantung kepada ukuran butir bahan yang dapat diangkut.

Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan (dimension requirement) guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek.

Rumus dibawah ini memberikan perkiraan kecepatan yang dimaksud:

$$v^2 \geq 32 \left( \frac{h}{d} \right)^{1/3} d$$

dimana:

v : kecepatan rata-rata, m/dt

h : kedalaman air, m

d : diameter butir, m

Dalam kondisi biasa, rumus ini dapat disederhanakan menjadi:  $v \approx 10 \times d^{0.5}$

Dengan kecepatan masuk sebesar 1,0-2,0 m/dt yang merupakan besaran perencanaan normal, dapat diharapkan bahwa butir-butir berdiameter 0,01 sampai 0,04 m dapat masuk. Kriteria perancangan bangunan pengambilan (intake) antara lain:

- a) Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan (dimension requirement) guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek
- b) Rumus debit yang dapat dipakai dalam perhitungan pengambilan sebagai aliran aliran bawah:

$$Q = \mu b a \sqrt{2gz}$$

dimana:

$Q$  : debit,  $m^3/dt$

$\mu$  : koefisiensi debit: untuk bukaan di bawah permukaan air dengan kehilangan tinggi energi,  $\mu = 0,80$

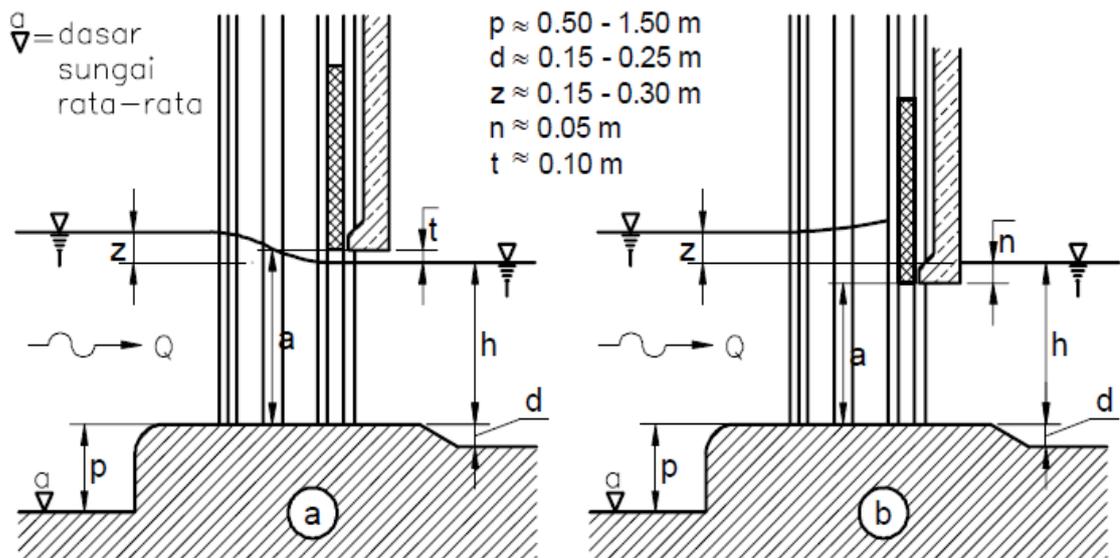
$b$  : lebar bukaan, m

$a$  : tinggi bukaan, m

$g$  : percepatan gravitasi,  $m/dt^2 (\approx 9,8)$

$z$  : kehilangan tinggi energi pada bukaan, m

Gambar III.24 menyajikan dua tipe pintu pengambilan.



**Gambar III.24** - Tipe pintu pengambilan

Bila pintu pengambilan dipasang pintu radial, maka  $\mu = 0,80$  jika ujung pintu bawah tenggelam 20 cm di bawah muka air hulu dan kehilangan energi sekitar 10 cm.

Untuk yang tidak tenggelam, dapat dipakai rumus-rumus dan grafik-grafik yang diberikan pada pasal 4.4 (KP-02).

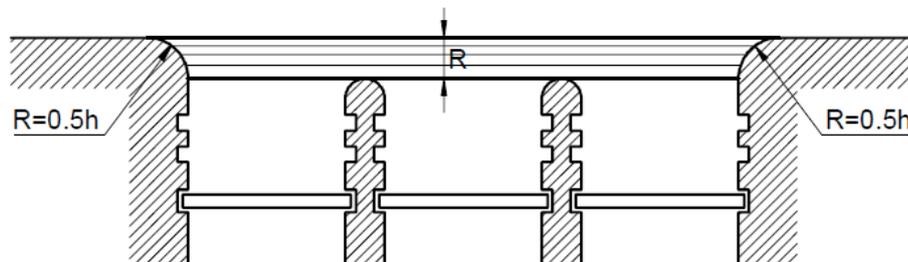
Elevasi mercu bendung direncana 0,10 di atas elevasi pengambilan yang dibutuhkan untuk mencegah kehilangan air pada bendung akibat gelombang.

Elevasi ambang bangunan pengambilan ditentukan dari tinggi dasar sungai. Ambang direncana di atas dasar dengan ketentuan berikut:

- a) 0,50 m jika sungai hanya mengangkut lanau
- b) 1,00 m bila sungai juga mengangkut pasir dan kerikil
- c) 1,50 m kalau sungai mengangkut batu-batu bongkah.

Harga-harga itu hanya dipakai untuk pengambilan yang digabung dengan pembilas terbuka; jika direncana pembilas bawah, maka kriteria ini tergantung pada ukuran saluran pembilas bawah. Dalam hal ini umumnya ambang pengambilan direncanakan  $0 < p < 20$  cm di atas ujung penutup saluran pembilas bawah.

Bila pengambilan mempunyai bukaan lebih dari satu, maka pilar sebaiknya dimundurkan untuk menciptakan kondisi aliran masuk yang lebih mulus (lihat Gambar 4.36).



**Gambar III.25 - Geometri bangunan pengambilan**

Pengambilan hendaknya selalu dilengkapi dengan sponeng skot balok di kedua sisi pintu, agar pintu itu dapat dikeringkan untuk keperluan-keperluan pemeliharaan dan perbaikan.

Guna mencegah masuknya benda-benda hanyut, puncak bukaan direncanakan di bawah muka air hulu. Jika bukaan berada di atas muka air, maka harus dipakai kisi-kisi penyaring. Kisi-kisi penyaring direncana dengan rumus berikut. Kehilangan tinggi energi melalui saringan adalah:

$$H_f = c \frac{v^2}{2g}$$

dimana:

$$c = \beta \left( \frac{s}{b} \right)^{4/3} \sin \delta$$

$H_f$  : kehilangan tinggi energi

$v$  : kecepatan datang (approach velocity)

$g$  : percepatan gravitasi  $m/dt^2$  ( $\approx 9,8$ )

$c$  : koefisien yang bergantung kepada:

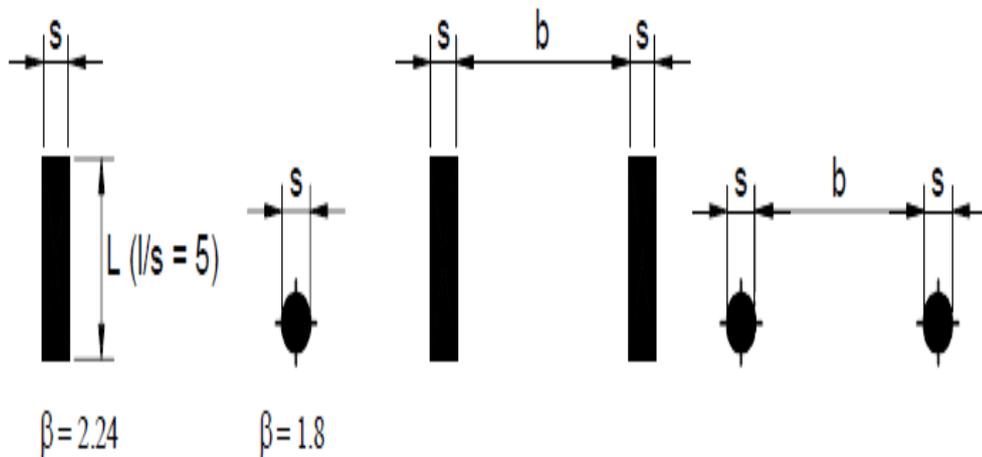
$\beta$  : faktor bentuk (lihat Gambar 4.37)

$s$  : tebal jeruji, m

$L$  : panjang jeruji, m (lihat Gambar 4.37)

$b$  = jarak bersih antar jeruji  $b$  ( $b > 50$  mm), m

$\delta$  = sudut kemiringan dari horisontal, dalam derajat



**Gambar III.26** - Bentuk-bentuk jeruji kisi-kisi penyaring dan harga-harga  $\beta$

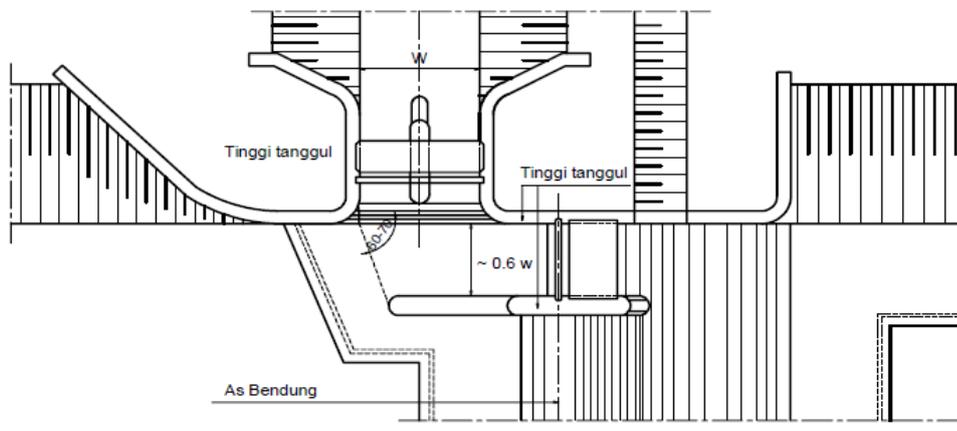
### 3.4.2 Pembilas

Lantai pembilas merupakan kantong tempat mengendapnya bahan-bahan kasar di depan pembilas pengambilan. Sedimen yang terkumpul dapat dibilas dengan jalan membuka pintu pembilas secara berkala guna menciptakan aliran terkonsentrasi tepat di depan pengambilan.

Pengalaman yang diperoleh dari banyak bendung dan pembilas yang sudah dibangun, telah menghasilkan beberapa pedoman menentukan lebar pembilas:

- lebar pembilas ditambah tebal pilar pembagi sebaiknya sama dengan  $1/6-1/10$  dari lebar bersih bendung (jarak antara pangkal-pangkalnya), untuk sungai-sungai yang lebarnya kurang dari 100 m.
- lebar pembilas sebaiknya diambil 60% dari lebar total pengambilan termasuk pilar-pilarnya.

Juga untuk panjang dinding pemisah, dapat diberikan harga empiris. Dalam hal ini sudut  $\alpha$  pada Gambar III.27 sebaiknya diambil sekitar  $60^\circ$  sampai  $70^\circ$ .



**Gambar III.27** - Geometri pembilas

Pintu pada pembilas dapat direncanakan dengan bagian depan terbuka atau tertutup (lihat juga Gambar III.30)

Pintu dengan bagian depan terbuka memiliki keuntungan-keuntungan berikut:

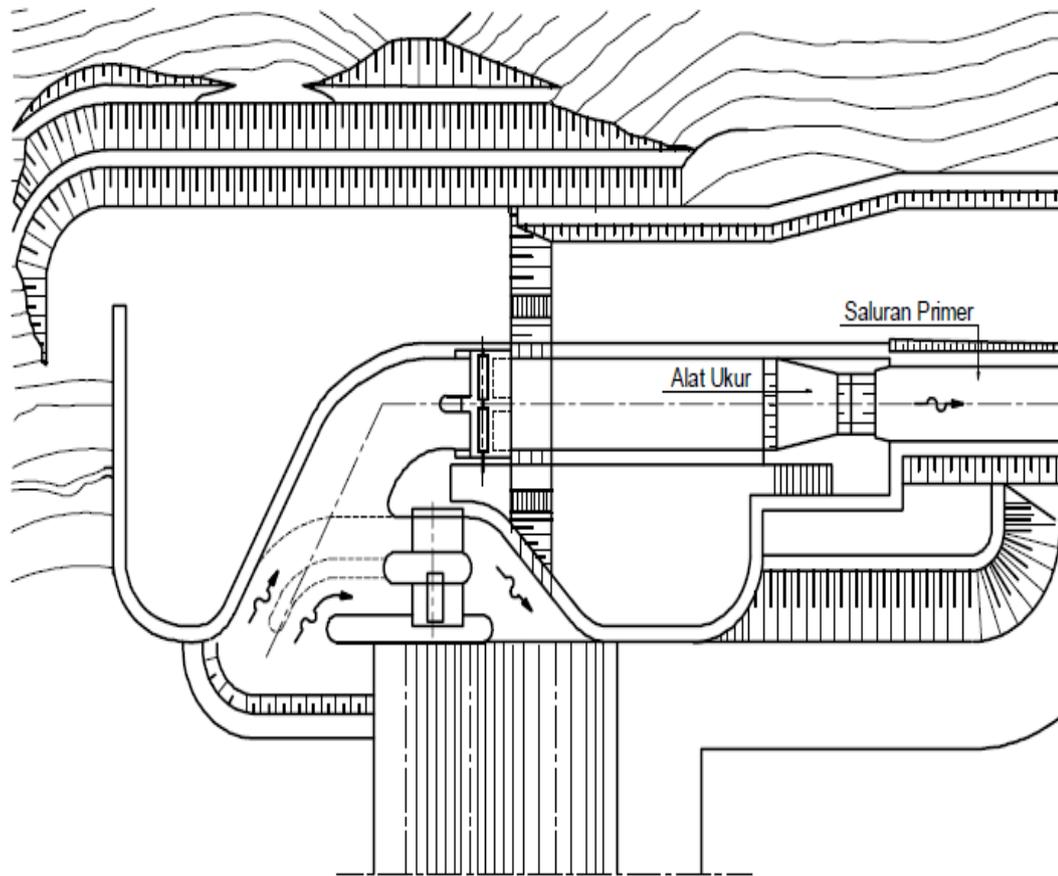
- ikut mengatur kapasitas debit bendung, karena air dapat mengalir melalui pintu-pintu yang tertutup selama banjir.

- b) pembuangan benda-benda terapung lebih mudah, khususnya bila pintu dibuat dalam dua bagian dan bagian atas dapat diturunkan

Kelemahan-kelemahannya:

- a) sedimen akan terangkut ke pembilas selama banjir; hal ini bisa menimbulkan masalah, apalagi kalau sungai mengangkut banyak bongkah. Bongkah-bongkah ini dapat menumpuk di depan pembilas dan sulit disingkirkan.
- b) benda-benda hanyut bisa merusakkan pintu.
- c) karena debit di sungai lebih besar daripada debit di pengambilan, maka air akan mengalir melalui pintu pembilas; dengan demikian kecepatan menjadi lebih tinggi dan membawa lebih banyak sedimen.

Sekarang kebanyakan pembilas direncana dengan bagian depan terbuka. Jika bongkah yang terangkut banyak, kadang-kadang lebih menguntungkan untuk merencanakan pembilas samping (shunt sluice), lihat Gambar III.29. Pembilas tipe ini terletak di luar bentang bersih bendung dan tidak menjadi penghalang jika terjadi banjir.



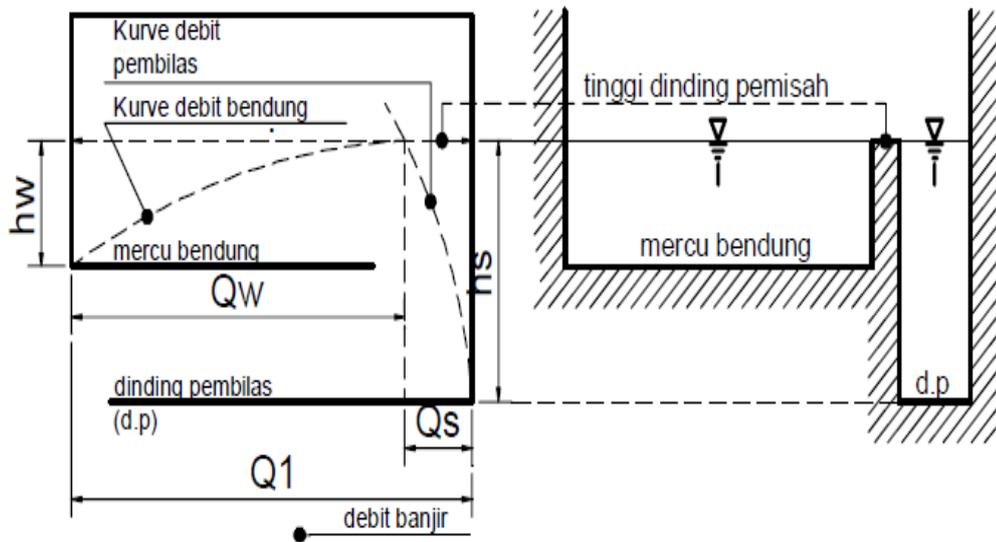
**Gambar III.28** - Pembilas samping

Bagian atas pemisah berada di atas muka air selama pembilasan berlangsung. Untuk menemukan elevasi ini, eksploitasi pembilas tersebut harus dipelajari. Selama eksploitasi biasa dengan pintu pengambilan terbuka, pintu pembilas secara berganti-ganti akan dibuka dan ditutup untuk mencegah penyumbatan.

Pada waktu mulai banjir pintu pengambilan akan ditutup (tinggi muka air sekitar 0,50 m sampai 1,0 m di atas mercu dan terus bertambah), pintu pembilas akan dibiarkan tetap tertutup. Pada saat muka air surut kembali menjadi 0,50 sampai 1,0 m di atas mercu dan terus menurun, pintu pengambilan tetap tertutup dan pintu pembilas dibuka untuk menggelontor sedimen.

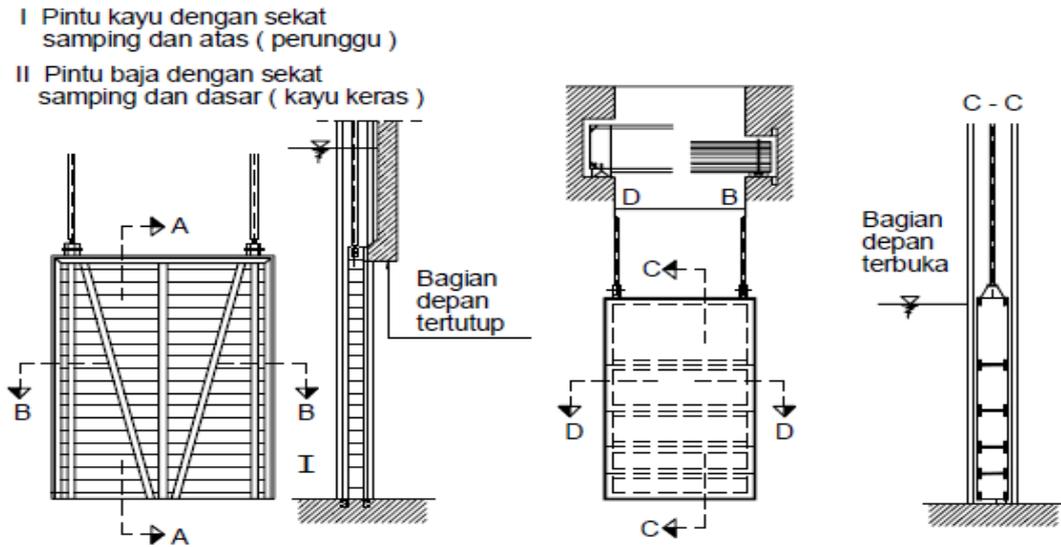
Karena tidak ada air yang boleh mengalir di atas dinding pemisah selama pembilasan (sebab aliran ini akan mengganggu), maka elevasi dinding tersebut sebaiknya diambil 0,50 atau 1,0 m di atas tinggi mercu. Jika pembilasan harus didasarkan pada debit tertentu di sungai yang masih cukup untuk itu muka dinding pemisah, dapat ditentukan dari Gambar III.29.

Biasanya lantai pembilas pada pada kedalaman rata-rata sungai. Namun demikian, jika hal ini berarti terlalu dekat dengan ambang pengambilan, maka lantai itu dapat ditempatkan lebih rendah asal pembilasan dicek sehubungan dengan muka air hilir (tinggi energi yang tersedia untuk menciptakan kecepatan yang diperlukan).



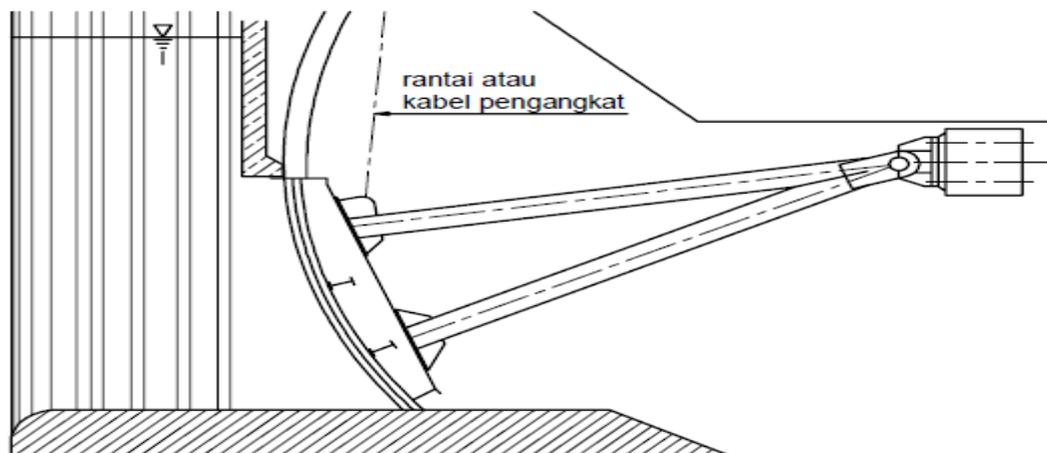
**Gambar III.29** - Metode menemukan tinggi dinding pemisah

Pintu yang dipakai untuk pengambilan dan pembilas dibuat dari kayu dengan kerangka (mounting) baja, atau dibuat dari pelat baja yang diperkuat dengan gelagar baja. Pelat-pelat perunggu dipasang pada pintu untuk mengurangi gesekan di antara pintu dengan sponengnya. Pintu berukuran kecil jarang memerlukan rol. Biasanya pintu pengambilan adalah pintu sorong kayu sederhana (lihat Gambar III.30). Bila di daerah yang bersangkutan harga kayu mahal, maka dapat dipakai baja.



**Gambar III.30** - Tipe-tipe pintu pengambilan: pintu sorong kayu dan baja

Jika air di depan pintu sangat dalam, maka eksploitasi pintu sorong mungkin sulit. Kalau demikian halnya, pintu radial atau segmen akan lebih baik (lihat Gambar III.31).



**Gambar III.31** - Pintu pengambilan tipe radial

### 3.4.3 Bangunan pembilas

Pembilas bawah direncana untuk mencegah masuknya angkutan sedimen dasar fraksi pasir yang lebih kasar ke dalam pengambilan. “Mulut” pembilas bawah ditempatkan di hulu pengambilan di mana ujung penutup pembilas membagi air menjadi dua lapisan: lapisan atas mengalir ke pengambilan dan lapisan bawah mengalir melalui saluran pembilas bawah lewat bendung (lihat Gambar IV.43).

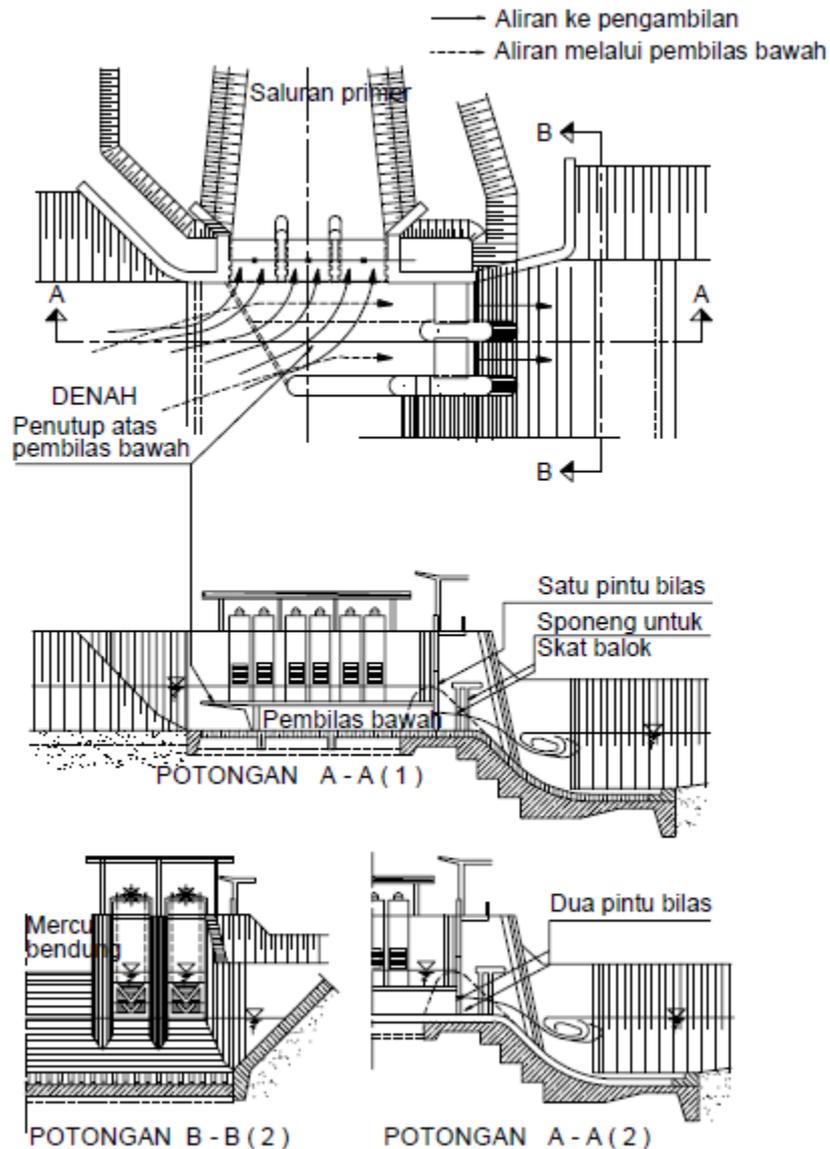
Pintu di ujung pembilas bawah akan tetap terbuka selama aliran air rendah pada musim kemarau pintu pembilas tetap ditutup agar air tidak mengalir. Untuk membilas kandungan sedimen dan agar pintu tidak tersumbat, pintu tersebut akan dibuka setiap hari selama kurang lebih 60 menit.

Apabila benda-benda hanyut mengganggu eksploitasi pintu pembilas sebaiknya di pertimbangkan untuk membuat pembilas dengan dua buah pintu, di mana pintu atas dapat diturunkan agar benda-benda hanyut dapat lewat.

Jika kehilangan tinggi energi bangunan pembilas kecil, maka hanya diperlukan satu pintu, dan jika dibuka pintu tersebut akan memberikan kehilangan tinggi energi yang lebih besar di bangunan pembilas. Bagian depan pembilas bawah biasanya direncana di bawah sudut dengan bagian depan pengambilan.

Dimensi-dimensi dasar pembilas bawah adalah:

- a) tinggi saluran pembilas bawah hendaknya lebih besar dari 1,5 kali diameter terbesar sedimen dasar di sungai
- b) tinggi saluran pembilas bawah sekurang-kurangnya 1,0 m,
- c) tinggi sebaiknya diambil  $\frac{1}{3}$  sampai  $\frac{1}{4}$  dari kedalaman air di depan pengambilan selama debit normal.



**Gambar III.32** - Pembilas bawah

Dimensi rata-rata dari pembilas bawah yang direncanakan dan dibangun berkisar dari:

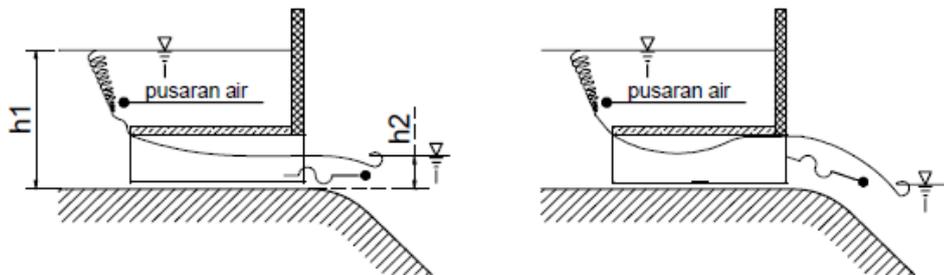
- 5 sampai 20 m untuk panjang saluran pembilas bawah
- 1 sampai 2 m untuk panjang tinggi saluran pembilas bawah
- 0,20 sampai 0,35 m untuk tebal beton bertulang.

Luas saluran pembilas bawah (lebar kali tinggi) harus sedemikian rupa sehingga kecepatan minimum dapat dijaga ( $v = 1,0-1,5$  m/dt). Tata letak saluran pembilas bawah harus direncanakan dengan hati-hati untuk menghindari

sudut mati (dead corner) dengan kemungkinan terjadinya sedimentasi atau terganggunya aliran.

Sifat tahan gerusan dari bahan dipakai untuk lining saluran pembilas bawah membatasi kecepatan maximum yang diizinkan dalam saluran bawah, tetapi kecepatan minimum bergantung kepada ukuran butir sedimen yang akan dibiarkan tetap bergerak.

Karena adanya kemungkinan terjadinya pusaran udara, di bawah penutup atas saluran pembilas bawah dapat terbentuk kavitas, lihat Gambar 44. Oleh karena itu, pelat baja bertulang harus dihitung sehubungan dengan beton yang ditahannya.



**Gambar III.33** - Pusaran (vortex) dan kantong udara di bawah penutup atas saluran pembilas bawah 1

Ada bermacam-macam pintu bilas yang bisa digunakan, yakni:

- satu pintu tanpa pelimpah (bagian depan tertutup, lihat Gambar III.34 a)
- satu pintu dengan pelimpah (bagian depan terbuka, lihat Gambar III.34 b)
- dua pintu, biasanya hanya dengan pelimpah (lihat Gambar III.34 c)
- pintu radial dengan katup agar dapat membilas benda-benda terapung (lihat Gambar III.34 d)

Apabila selama banjir aliran air akan lewat di atas pintu, maka bagian atas pintu harus direncana sedemikian rupa, sehingga tidak ada getaran dan tirai luapannya harus diaerasi secukupnya. (lihat Gambar III.34).

Dimensi kebutuhan aerasi dapat diperkirakan dengan pertolongan rumus berikut:

$$q_{udara} = 0.1 \frac{q_{air}}{y_p / h_1^{1.5}}$$

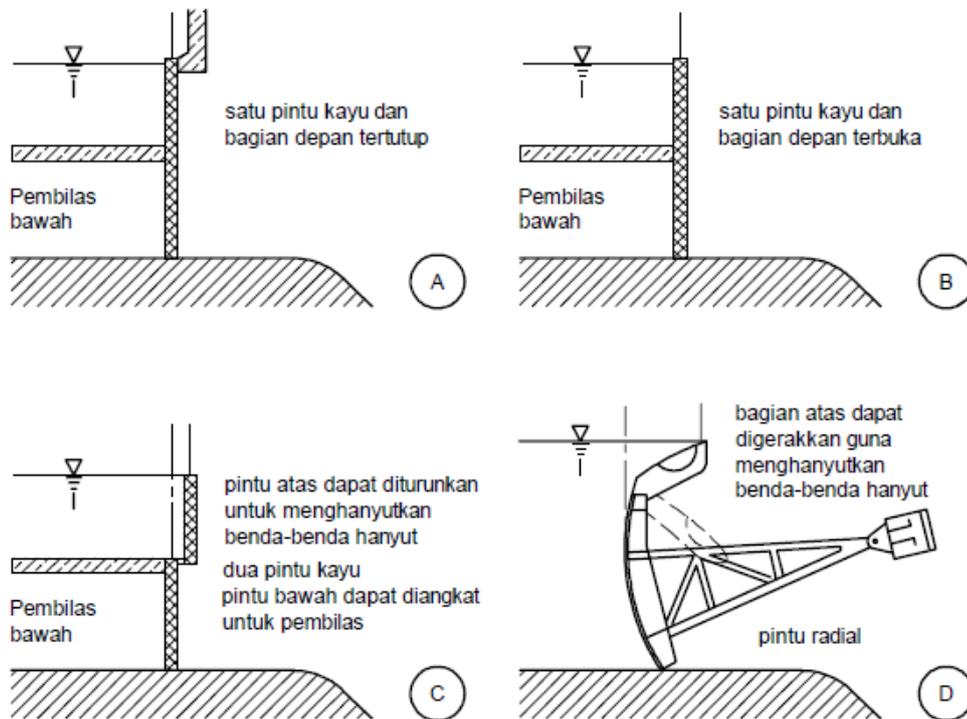
dimana:

$q_{udara}$  : udara yang diperlukan untuk aerasi per m' lebar pintu, m<sup>3</sup>/dt

$q_{air}$  : debit di atas pintu, m<sup>3</sup>/dt.m

$y_p$  : kedalaman air di atas tirai luapan, m

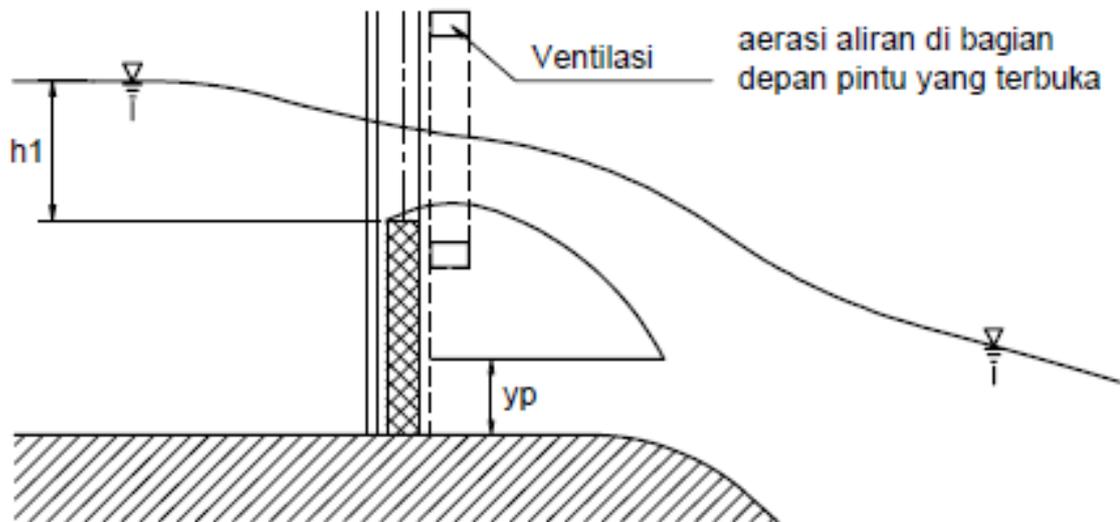
$h_1$  : kedalaman air di atas pintu, m



**Gambar III.34** - tipe pintu bilas

Untuk menemukan dimensi pipa, kecepatan udara maksimum di dalam pipa boleh diambil 40-50 m/dt.

Stang pengangkat dari pintu dengan bagian depan terbuka, ditempatkan di luar bukaan bersih (di dalam sponeng) guna melindunginya dari benda-benda terapung.



Gambar III.35 - erisi pintu sorong yang terendam

Dimensi Pintu Pembilas, secara umum mengikuti aturan:

Lebar pintu pembilas:

1/6 - 1/10 lebar bersih bendung ( KP-02 hal. 88 )

Lebar pilar:

1-1,5 meter ( beton )

2-3 meter (pasangan batu kali )

Tinggi under slice: 1/3-1/4 tinggi muka air normal atau 1-2 m.

Tebal plat under slice = 0,2-0,35 meter

Kecepatan Aliran Untuk Pembilas;  $V_c = 1.5 \times c \times d^{0.5}$

#### 3.4.4 Kantong Lumpur

Walaupun telah ada usaha untuk merencanakan sebuah bangunan pengambilan dan pengelak sedimen yang dapat mencegah masuknya sedimen ke dalam jaringan saluran irigasi, masih ada banyak partikel-partikel halus yang masuk ke jaringan tersebut. Untuk mencegah agar sedimen ini tidak mengendap di seluruh saluran irigasi, bagian awal dari saluran primer persis di belakang pengambilan direncanakan untuk berfungsi sebagai kantong lumpur.

Kantong lumpur itu merupakan pembesaran potongan melintang saluran sampai panjang tertentu untuk mengurangi kecepatan aliran dan memberi kesempatan kepada sedimen untuk mengendap.

Untuk menampung endapan sedimen ini, dasar bagian saluran tersebut diperdalam atau diperlebar. Tampungan ini dibersihkan tiap jangka waktu tertentu (kurang lebih sekali seminggu atau setengah bulan) dengan cara membilas sedimennya kembali ke sungai dengan aliran terkonsentrasi yang berkecepatan tinggi.

Kantong lumpur mengendapkan fraksi-fraksi sedimen yang lebih besar dari fraksi pasir halus tetapi masih termasuk pasir halus dengan diameter butir berukuran 0,088 mm dan biasanya ditempatkan persis di sebelah hilir pengambilan. Bahan-bahan yang lebih halus tidak dapat ditangkap dalam kantong lumpur biasa dan harus diangkut melalui jaringan saluran ke sawah-sawah. Bahan yang telah mengendap di dalam kantong kemudian dibersihkan secara berkala. Pembersihan ini biasanya dilakukan dengan menggunakan aliran air yang deras untuk menghanyutkan bahan endapan tersebut kembali ke sungai. Dalam hal-hal tertentu, pembersihan ini perlu dilakukan dengan cara lain, yaitu dengan jalan mengeruknya atau dilakukan dengan tangan.

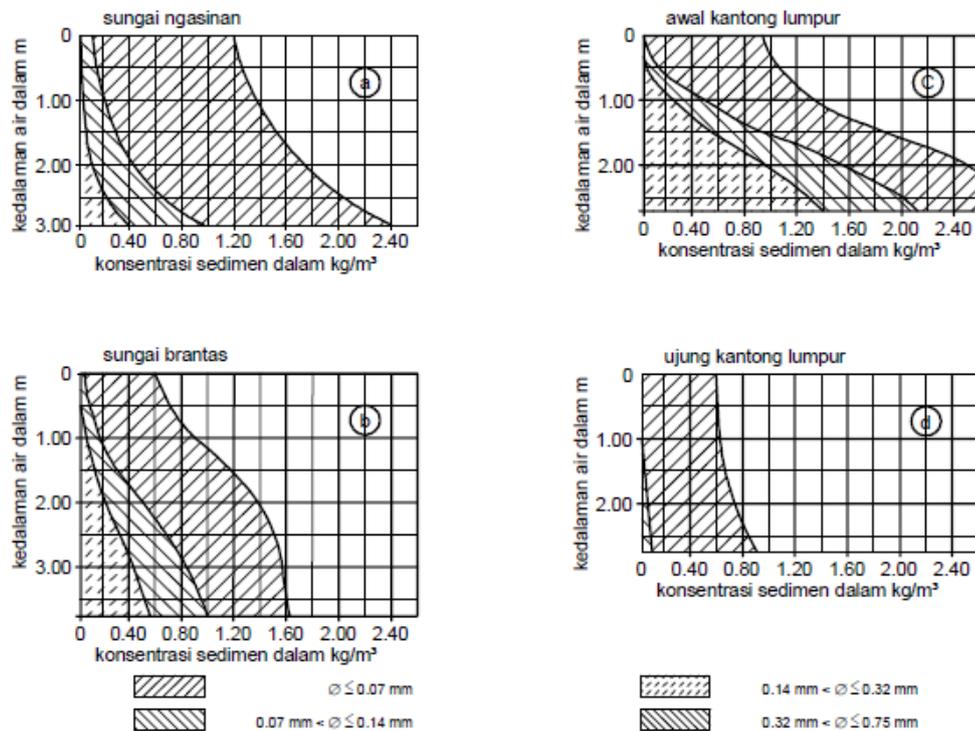
Perencanaan kantong lumpur yang memadai bergantung kepada tersedianya data-data yang memadai mengenai sedimen di sungai. Adapun data-data yang diperlukan adalah:

- a) pembagian butir
- b) penyebaran ke arah vertikal
- c) sedimen layang
- d) sedimen dasar
- e) volume

Jika tidak ada data yang tersedia, ada beberapa harga praktis yang bisa dipakai untuk bangunan utama berukuran kecil. Dalam hal ini volume bahan layang yang harus diendapkan, diandaikan 0,60/00 (permil) dari volume air yang mengalir melalui kantong.

Ukuran butir yang harus diendapkan bergantung kepada kapasitas angkutan sedimen di jaringan saluran selebihnya. Dianjurkan bahwa sebagian besar (60-70%) dari pasir halus terendapkan: partikel-partikel dengan diameter di atas 0,06 – 0,07 mm.

Partikel-partikel yang lebih halus di sungai diangkut dalam bentuk sedimen layang dan tersebar merata di seluruh kedalaman aliran. Semakin besar dan berat partikel yang terangkut, semakin partikel-partikel itu terkonsentrasi ke dasar sungai; bahan-bahan yang terbesar diangkut sebagai sedimen dasar. Gambar III.36 memberikan ilustrasi mengenai sebaran sedimen ke arah vertikal di dua sungai (a) dan (b); pada awal (c) dan ujung (d) kantong lumpur.



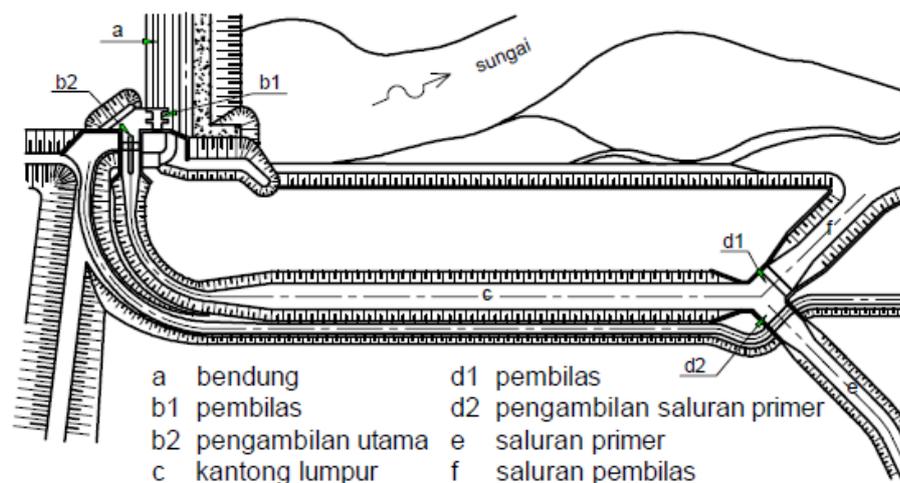
**Gambar III.36** - Konsentrasi sedimen ke arah vertikal

Dari gambar tersebut, jelas bahwa perencanaan pengambilan juga dimaksudkan untuk mencegah masuknya lapisan air yang lebih rendah, yang banyak bermuatan partikel-partikel kasar.

Keadaan topografi tepi sungai maupun kemiringan sungai itu sendiri akan sangat berpengaruh terhadap kelayakan ekonomis pembuatan kantong lumpur.

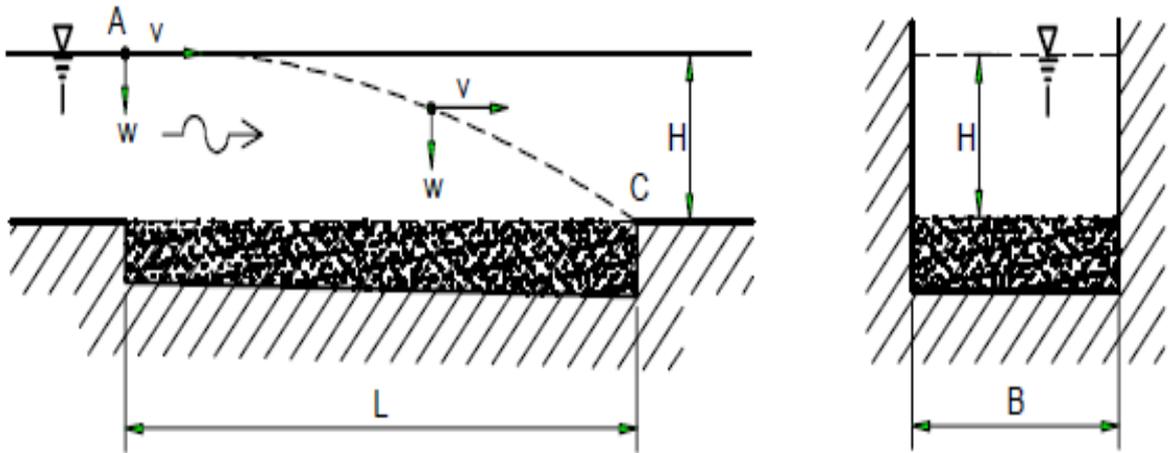
Kantong lumpur dan bangunan-bangunan pelengkapya memerlukan banyak ruang, yang tidak selalu tersedia. Oleh karena itu, kemungkinan penempatannya harus ikut dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi bangunan utama.

Pada Gambar III.37 diberikan tipe tata letak kantong lumpur sebagai bagian dari bangunan utama.



**Gambar III.37** - Tipe tata letak kantong lumpur

Dimensi-dimensi L (panjang) dan B (lebar) kantong lumpur dapat diturunkan dari Gambar 49. Partikel yang masuk ke kolam pada A, dengan kecepatan endap partikel  $w$  dan kecepatan air  $v$  harus mencapai dasar pada C. Ini berakibat bahwa, partikel, selama waktu  $(H/w)$  yang diperlukan untuk mencapai dasar, akan berjalan (berpindah) secara horisontal sepanjang jarak L dalam waktu  $L/v$ .



**Gambar III.38 - Skema kantong lumpur**

Jadi:

$$\frac{H}{w} = \frac{L}{v}, \text{ dengan } v = \frac{Q}{HB}$$

dimana:

H : kedalaman aliran saluran, m

w : kecepatan endap partikel sedimen, m/dt

L : panjang kantong lumpur, m

v : kecepatan aliran air, m/dt

Q : debit saluran, m<sup>3</sup>/dt

B : lebar kantong lumpur, m

ini menghasilkan:

$$LB = \frac{Q}{w}$$

Karena sangat sederhana, rumus ini dapat dipakai untuk membuat perkiraan awal dimensi-dimensi tersebut. Untuk perencanaan yang lebih detail, harus dipakai faktor koreksi guna menyelaraskan faktor-faktor yang mengganggu, seperti:

- a) turbulensi air
- b) pengendapan yang terhalang
- c) bahan layang sangat banyak.

Velikanov menganjurkan faktor-faktor koreksi dalam rumus berikut:

$$LB = \frac{Q}{w} \cdot \frac{\lambda^2}{7.51} \cdot \frac{v}{w} \cdot \frac{(H^{0.5} - 0.2)^2}{H}$$

Dimana:

L : panjang kantong lumpur, m

B : lebar kantong lumpur, m

Q : debit saluran, m<sup>3</sup>/dt

w : kecepatan endap partikel sedimen, m/dt

$\lambda$  : koefisiensi pembagian/distribusi Gauss

$\lambda$  adalah fungsi D/T, di mana D = jumlah sedimen yang diendapkan dan T : jumlah sedimen yang diangkut  $\lambda = 0$  untuk D/T = 0,5 ;  $\lambda = 1,2$  untuk D/T = 0,95 dan  $\lambda = 1,55$  untuk D/T = 0,98

v : kecepatan rata-rata aliran, m/dt

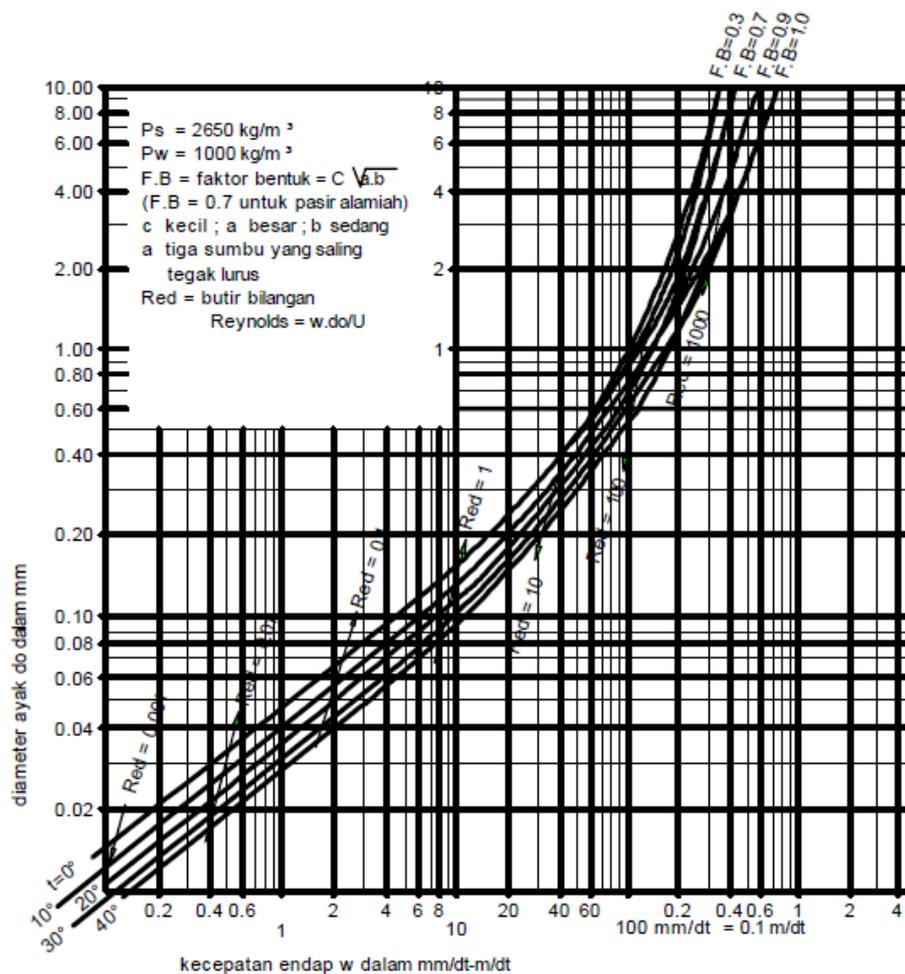
H : kedalaman aliran air di saluran, m

Dimensi kantong sebaiknya juga sesuai dengan kaidah bahwa L/B > 8, untuk mencegah agar aliran tidak “meander” di dalam kantong.

Apabila topografi tidak memungkinkan diturutinya kaidah ini, maka kantong harus dibagi-bagi ke arah memanjang dengan dinding-dinding pemisah (devider wall) untuk mencapai perbandingan antara L dan B ini.

Dalam rumus-rumus ini, penentuan kecepatan endap amat penting karena sangat berpengaruh terhadap dimensi kantong lumpur. Ada dua metode yang bisa dipakai untuk menentukan kecepatan endap, yakni:

- 1) Pengukuran di tempat; Pengukuran kecepatan endap terhadap contoh-contoh yang diambil dari sungai adalah metode yang paling akurat jika dilaksanakan oleh tenaga berpengalaman (DPMA, 1981). Dalam metode ini dilakukan analisis tabung pengendap (settling tube) terhadap contoh air yang diambil dari lapangan.
- 2) Dengan rumus/grafik; Dalam metode kedua, digunakan grafik Shields (Gambar III.39) untuk kecepatan endap bagi partikel-partikel individual (discrete particles) dalam air yang tenang. Rumus Velikanov menggunakan kecepatan endap ini.



**Gambar III.39** - Hubungan antara diameter saringan dan kecepatan endap untuk air tenang

### 3.5 Bangunan Pelindung (Bangunan Perkuatan Sungai)

Pembuatan bangunan perkuatan sungai khusus di sekitar bangunan utama untuk menjaga agar bangunan tetap berfungsi dengan baik, terdiri dari:

- a) Bangunan perkuatan sungai guna melindungi bangunan terhadap kerusakan akibat penggerusan dan sedimentasi. Pekerjaan-pekerjaan ini umumnya berupa krib, matras batu, pasangan batu kosong dan/atau dinding pengarah.
- b) Tanggul banjir untuk melindungi lahan yang berdekatan terhadap genangan akibat banjir.
- c) Saringan bongkah untuk melindungi pengambilan atau pembilas, agar bongkah tidak menyumbat bangunan selama terjadi banjir.
- d) Tanggul penutup untuk menutup bagian sungai lama atau, bila bangunan bendung dibuat di kopur, untuk mengelakkan sungai melalui bangunan tersebut.

Bangunan pelindung dibuat untuk melindungi pintu pengatur pada bendung. Rancangan bangunan pelindung dapat terbuat dari material baja ataupun beton dengan struktur portal sederhana.

Salah satu fungsi tembok penahan tanah adalah sebagai pengaku kekokohan tubuh bendung yang umumnya terbuat dari pasangan batu kali.

secara prinsip dimensi tembok penahan tanah harus memenuhi 3 persyaratan kestabilan, yaitu:

- a) Aman terhadap guling
- b) Aman terhadap geser
- c) Aman terhadap amblas

### 3.6 Latihan

1. Sebutkan perencanaan pendahuluan sebagai dasar untuk penyelidikan !
2. Sebutkan hal yang arti paling penting dalam perencanaan !
3. Sebutkan dan rincikan 3 gravitasi dalam penyebab runtuhnya bangunan !

### 3.7 Rangkuman

Lebar bendung, yaitu jarak antara pangkal-pangkalnya (abutment), sebaiknya sama dengan lebar rata-rata sungai pada bagian yang stabil. Di bagian ruas

bawah sungai, lebar rata-rata ini dapat diambil pada debit penuh (bankful discharge): di bagian ruas atas mungkin sulit untuk menentukan debit penuh. Dalam hal ini banjir mean tahunan dapat diambil untuk menentukan lebar rata-rata bendung. Lebar maksimum bendung hendaknya tidak lebih dari 1,2 kali lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil.

Mercu Ogee berbentuk tirai luapan bawah dari bandung ambang tajam aerasi. Oleh karena itu mercu ini tidak akan memberikan tekanan subatmosfir pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Untuk debit yang lebih rendah, air akan memberikan tekanan ke bawah pada mercu.

Aliran di atas bendung di sungai dapat menunjukkan berbagai perilaku di sebelah bendung akibat kedalaman air yang ada  $h_2$ .

Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatis dan gaya hidrodinamik. Tekanan hidrostatis adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air. Tekanan air akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan

## BAB IV

### PENETAPAN DESAIN BANGUNAN UTAMA (BENDUNG)

*Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta diharapkan mampu menjelaskan mengenai perancangan pra-desain bangunan utama ( bendung )*

#### 4.1 Uji Model Pra Design Bangunan Utama

Cara melakukan uji model bangunan bendung di laboratorium; secara prinsip bahwa uji model di laboratorium semua komponen /data hasil perhitungan ditransfer dengan menggunakan skala model.

uji model ini dilakukan terutama pada:

- a) Jenis aliran yang terjadi pada mercu bendung
- b) Keamanan tubuh bendung
- c) Dsbnya.

Kegunaan uji model pradisain bangunan utama; kegunaan uji model pradisain bangunan utama, diantaranya:

- a) apakah kondisi lokasi sedemikian rupa sehingga akan timbul masalah-masalah yang tidak bisa dipecahkan dengan pengalaman yang ada sekarang.
- b) apakah masalah-masalah bangunan begitu kompleks sehingga dengan parameter-parameter dan standar perencanaan yang ada tidak mungkin dibuat suatu perencanaan akhir yang dapat diterima.
- c) apakah hasil-hasil penyelidikan model itu akan berarti banyak menghemat biaya.
- d) apakah aturan-aturan pendahuluan untuk eksploitasi dan pemeliharaan bangunan nanti tidak dapat ditetapkan berdasarkan pengalaman sebelumnya.
- e) Apakah biaya pelaksanaan penyelidikan model tidak besar dibandingkan dengan seluruh biaya pelaksanaan bangunan.

Di bawah ini merupakan data yang dibutuhkan untuk melakukan uji model bendung, antara lain:

- a) Disain/dimensi bendung
- b) Ruas sungai; atas, tengah, bawah
- c) Debit saluran

Data hasil uji model yang akan disajikan umum berupa:

- a) Perilaku (performance) hidrolis dari seluruh bangunan atau masing-masing komponennya. Model komputer dipakai untuk studi banjir dan gejala morfologi seperti agradasi dan degradasi yang akan terjadi di sungai itu.
- b) lokasi dan tatal letak umum bangunan bendung
- c) pekerjaan pengaturan sungai di hulu bangunan
- d) bentuk mercu bendung pelimpah tetap
- e) pintu-pintu utama bendung gerak termasuk bentuk ambangnya
- f) kolam olak dan efisiensinya sebagai peredam energi
- g) eksploitasi pintu bendung gerak sehubungan dengan penggerusan lindungan dasar dan dasar sungai
- h) kompleks pembilas/pengambilan sehubungan dengan pengelakkan sedimen
- i) saluran pengarah dan kantong lumpur sehubungan dengan distribusi kecepatan yang seragam

Contoh terhadap uji model salah satu komponen; Bangunan bendung akan dibuat di salah satu dari saluran cabang di daerah delta sungai, maka penyelidikan akan diperlukan untuk menentukan konsekuensi-konsekuensi hidrolis dan morfologi untuk jaringan sungai pada umumnya dan saluran cabang dari bangunan utama khususnya. Dalam hal ini, lokasi bangunan di sungai harus diselidiki secara lebih mendetail.

Perlunya kecermatan dan ketelitian dalam melakukan uji model bangunan bendung di laboratorium.

## 4.2 Penyempurnaan Desain Bangunan Utama

Penyempurnaan desain bangunan utama dilakukan dengan memperhatikan hasil uji model.

Cara menyempurnakan disain hasil uji model; Penyelidikan model biasanya tidak dipakai untuk pemilihan lokasi. Alasan utamanya adalah bahwa perencanaan hidrolis hanyalah merupakan salah satu dari banyak kriteria yang menentukan pemilihan lokasi. Tata letak pendahuluan bangunan utama bisa dicek dalam model, yang dilakukan untuk pekerjaan-pekerjaan bangunan yang besar dan rumit.

Contoh cara mengevaluasi hasil uji model disain bangunan utama hasil uji model untuk bendung atau bendung gerak yang terletak di kawasan sungai teranyam atau tanggul pasir yang berpindah-pindah;

- a) Setelah pembuatan bendung atau bendung gerak di sungai semacam ini, dasar sungai di sebelah hulu akan naik dan cenderung kurang stabil daripada sebelumnya. Pekerjaan pengaturan sungai perlu dilaksanakan secara menyeluruh (ekstensif) guna menstabilkan aliran di hulu bendungan yang baru
- b) untuk bendung atau bendung gerak semacam ini, dianjurkan untuk menyelidiki pola aliran dan tata letak pekerjaan sungai dalam model hidrolis, karena sifatnya yang kompleks, perencanaan pendahuluan mungkin tidak bisa memenuhi semua persyaratan dan penyelidikan model dapat menunjukkan banyak kemungkinan untuk perbaikan. Hasil-hasil penyelidikan model akan banyak memungkinkan penghematan biaya pelaksanaan

Indikasi bahwa disain bangunan utama diperbaiki berdasarkan evaluasi hasil uji model, diantaranya:

- a) Adanya perbaikan/ penyempurnaan terhadap disain berdasarkan hasil uji model
- b) Dilakukannya analisis ulang terhadap kelemahan disain yang didasarkan pada hasil uji model

- c) Evaluasi uji model memungkinkan adanya penghematan biaya pelaksanaan

Perlunya kecermatan dan ketelitian dalam menyempurnakan disain bendung dengan memperhatikan hasil uji model.

#### **4.3 Penetapan Desain Definitif Bangunan Utama**

Hasil penyempurnaan pradesain bangunan utama dikonsultasikan kepada pihak terkait untuk dijadikan bahan penetapan desain definitive.

Tujuan penjelasan hasil penyempurnaan pradisain bangunan utama kepada pihak terkait, adalah untuk menjelaskan dan mendapatkan persetujuan terhadap disain hasil penyempurnaan berdasarkan uji model. Pihak terkait yang bisa dilibatkan untuk berkonsultasi hasil penyempurnaan pradisain bangunan utama antara lain Dinas pengairan.

Contoh Indikasi yang menunjukkan bahwa disain bangunan utama sudah menjadi disain definitive, adalah disain sudah mendapat persetujuan dari para pihak yang berkompeten.

Oleh karena itu, perlu adanya kecermatan dan ketelitian dalam mengonsultasikan hasil penyempurnaan pradisain kepada pihak terkait untuk dijadikan bahan penetapan desain definitif.

#### **4.4 Latihan**

1. Sebutkan 2 contoh Cara mengevaluasi hasil uji model disain bangunan utama !
2. Sebutkan indikasi desain bangunan utama diperbaiki !

#### **4.5 Rangkuman**

Penyempurnaan desain bangunan utama dilakukan dengan memperhatikan hasil uji model.

Cara menyempurnakan disain hasil uji model; Penyelidikan model biasanya tidak dipakai untuk pemilihan lokasi. Alasan utamanya adalah bahwa perencanaan hidrolis hanyalah merupakan salah satu dari banyak kriteria yang menentukan pemilihan lokasi. Tata letak pendahuluan bangunan utama bisa

dicek dalam model, yang dilakukan untuk pekerjaan-pekerjaan bangunan yang besar dan rumit.

Tujuan penjelasan hasil penyempurnaan pradisain bangunan utama kepada pihak terkait, adalah untuk menjelaskan dan mendapatkan persetujuan terhadap disain hasil penyempurnaan berdasarkan uji model. Pihak terkait yang bisa dilibatkan untuk berkonsultasi hasil penyempurnaan pradisain bangunan utama antara lain Dinas pengairan

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Simpulan**

Bangunan utama dapat didefinisikan sebagai: “semua bangunan yang direncanakan di sungai atau aliran air untuk membelokkan air ke dalam jaringan irigasi, biasanya dilengkapi dengan kantong lumpur agar bisa mengurangi kandungan sedimen yang berlebihan serta memungkinkan untuk mengukur dan mengatur air yang masuk.

Salah satu bangunan utama yang mempunyai fungsi membelokkan air dan menampung air disebut bendungan, yang kriteria perencanaannya tidak tercakup dalam kriteria ini.

Kriteria perencanaan bendungan dan bangunan pelengkap lainnya akan dipersiapkan secara terpisah oleh institusi yang berwenang. Terdapat 6 (enam) bangunan utama yang sudah pernah atau sering dibangun di Indonesia, antara lain:

- 1) Bendung Tetap
- 2) Bendung Gerak Vertikal
- 3) Bendung Karet (bendung gerak horizontal)
- 4) Bendung Saringan Bawah
- 5) Bendung Pengambilan Bebas
- 6) Bendung Tipe Gergaji

Untuk perencanaan pendahuluan akan dipakai kriteria seperti yang diberikan dalam Bagian KP - 02 Bangunan Utama. Perencanaan Pendahuluan akan dipakai sebagai dasar untuk penyelidikan-penyelidikan selanjutnya yang berkenaan dengan :

- a) Pemetaan sungai dan lokasi bendung
- b) Penyelidikan geologi teknik
- c) Penyelidikan model hidrolis, kalau diperlukan.

Desain bendung dirancang dengan memperhatikan kondisi tanah dan hasil analisis debit banjir rencana dengan mengacu pada standar kriteria perencanaan KP-02

Cara melakukan uji model bangunan bendung di laboratorium; secara prinsip bahwa uji model di laboratorium semua komponen /data hasil perhitungan ditransfer dengan menggunakan skala model.

uji model ini dilakukan terutama pada:

- a) Jenis aliran yang terjadi pada mercu bendung
- b) Keamanan tubuh bendung
- c) Dsbnya.

Kegunaan uji model pradisain bangunan utama; kegunaan uji model pradisain bangunan utama, diantaranya:

- a) apakah kondisi lokasi sedemikian rupa sehingga akan timbul masalah-masalah yang tidak bisa dipecahkan dengan pengalaman yang ada sekarang.
- b) apakah masalah-masalah bangunan begitu kompleks sehingga dengan parameter-parameter dan standar perencanaan yang ada tidak mungkin dibuat suatu perencanaan akhir yang dapat diterima.
- c) apakah hasil-hasil penyelidikan model itu akan berarti banyak menghemat biaya.
- d) apakah aturan-aturan pendahuluan untuk eksploitasi dan pemeliharaan bangunan nanti tidak dapat ditetapkan berdasarkan pengalaman sebelumnya.

Apakah biaya pelaksanaan penyelidikan model tidak besar dibandingkan dengan seluruh biaya pelaksanaan bangunan

## **5.2 Tindak Lanjut**

Sebagai tindak lanjut dari pelatihan ini, peserta diharapkan mengikuti kelas lanjutan untuk dapat memahami detail tentang perencanaan bangunan utama, sehingga memiliki pemahaman yang komprehensif mengenai pengaturan drainasi dan irigasi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. BOS,M.G. (Ed),: **Discharge measurement structures.** Publication 20, ILRI, Wageningen 1977.
2. BOS,M.G., REPLOGLE,J.A., and CLEMMENS,A.J.: **Flow measuring flumes for open channel systems.** John Wiley, New York 1984.
3. BOUVARD,M.: **Barrages mobiles et ouvrages de derivation, a partie de rivieres transportant des materiaux solides.** Eyrolles, Paris, 1984.
4. BRADLEY,J.N., and PETERKA,A.J.: **The hydraulic design of stilling basins.** Journal of the Hydraulics division, ASCE, Vol.83, No. HY5, 1957.
5. CAMP,T.R.: **Sedimentation and the design of settling tanks.** Transactions ASCE, 1946.
6. CHOW,V.T.: **Open channel hydraulics.** McGraw-Hill, New York, 1959.
7. CHOW,V.T.: **Handbook of Applied Hydrology.** McGraw-Hill, London, 1964.
8. CREAGER,W.P., JUSTIN,J.D. & HINDS,J.: **Engineering for Dams,** Volumes I, II & III. John Wiley & Sons, New York, 1945.
9. DAVIDENKOFF,R.: **Unterlaufigkeit von Stauwerken.** Wernerverlag Dusseldorf, 1970.
- 10.DPMA: **Pengamanan Sungai Serta Pengendalian Aliran (Diutamakan Penggunaan Konstruksi Bronjong),** 1978.
- 11.FORSTER,J.W., SKRINDE,R.A.: **Control of the hydraulic jump by sills.** Transactions, ASCE, Vol.115, 1950.
- 12.JANSSEN,P.P.(Ed),: **Principles of River Engineering.** Pitman, London, 1979.
- 13.LANE,E.W.: **Security from under-seepage of masonry dams on earth foundations.** Transactions, ASCE, Vol.100, 1935.
- 14.LANGKEMME IRRIGATION PROJECT: **Hydraulic Model Test and Related Study Design Note,** Nippon Koei, PT Buana Archicon.
- 15.MEMED,M.: **Cara-cara konstruksi untuk mengurangi angkutan sedimen yang akan masuk ke intake dan saluran pengairan.** DPMA Bandung, 1981.
- 16.MEMED,M., and ERMAN,M.: **Penggunaan lapisan batu “Candi” sebagai perkuatan terhadap bahaya benturan batu dan mengurangi kerusakan akibat abrasi/goresan oleh pasir batu yang terbawa aliran pada bendung.** DPMA Bandung, 1980.

17. MEMED, M., ERMAN, M., and SYARIF S.: **Pengelak Angkutan Sedimen tipe undersluice dengan perencanaan hidrolisnya**, Jilid I & II. DPMA Bandung, 1981.
18. PETERKA, A. J.: **Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators**. USBR, Washington DC, 1958 (rev. 1964).
19. PRESS, H.: **Stauanlagen und Wasserkraftwerke**, Teil II : Wehre. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1959.
20. SCHOKLITSCH, A.: **Handbuch des Wasserbaues**, Volumes I and II. Springer Verlag, Vienna, 1962.
21. SCS: **Design of open channels**, Technical Release No. 25. USDA Soil Conservation Service, Washington DC, 1977.
22. SOENARNO: **Perhitungan bendung tetap**. Directorate of Irrigation, Bandung, 1972.
23. USBR: **Design of Small Dams**. Denver, USA.
24. VLUGTER, H.: **Het transport van vaste stoffen door stroomend water**. De Ingenieur in Ned-Indie No. 3, 1941

## GLOSARIUM

**Bangunan utama** : semua bangunan yang direncanakan di sungai atau aliran air untuk membelokkan air ke dalam jaringan irigasi, biasanya dilengkapi dengan kantong lumpur agar bisa mengurangi kandungan sedimen yang berlebihan serta memungkinkan untuk mengukur dan mengatur air yang masuk.

**Topografis** : studi tentang bentuk permukaan bumi dan objek lain seperti planet, satelit alami (bulan dan sebagainya).

**Hidrograf** : kurva yang member hubungan antara parameter aliran dan waktu

**Geoteknik** : Salah satu cabang dari ilmu Teknik Sipil. Di dalamnya diperdalam pembahasan mengenai permasalahan kekuatan tanah dan batuan serta hubungannya dengan kemampuan menahan beban bangunan yang berdiri di atasnya