

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bendung adalah suatu bangunan yang dibuat dengan pasangan batu kali, bronjong atau beton, yang terletak melintang pada sebuah sungai yang tentu saja bangunan ini dapat digunakan untuk kepentingan lain selain irigasi, seperti untuk keperluan air minim, pembangkit listrik. Menurut macamnya bendung dibagi dua, yaitu bendung tetap dan bendung sementara, bendung tetap adalah bangunan yang sebagian besar konstruksinya terdiri dari pintu yang dapat digerakkan untuk mengatur ketinggian muka air sungai sedangkan bendung tidak tetap adalah bangunan yang dipergunakan untuk meninggikan muka air sungai, sampai ketinggian yang diperlukan agar air dapat dialirkan ke saluran irigasi dan petak tersier.

Bendung D.I Kerasaan merupakan bendung tetap yang berdiri sejak tahun 1986 yang terletak di Kecamatan Jawa Bah Jambi, Kabupaten Simalungun. Bendung ini dibangun dengan tujuan meningkatkan elevasi muka air sungai Bah Bolon pada saat musim kemarau, sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian bagi masyarakat setempat.

Penelitian dilakukan karena bangunan bendung sudah 39 tahun berdiri, maka dari itu tujuan penelitian untuk mengetahui apakah bangunan masih aman terhadap safety factor atau faktor keamanan SNI Geoteknik yang terbaru pada stabilitas guling (*overtuning*), geser (*sliding*), dan erosi bawah tanah (*piping*), ketika muka air kecil dan ketika muka air banjir datang.

Salah satu syarat keamanan bendung yaitu harus stabil terhadap geser (*sliding*), guling (*overtuning*), dan erosi bawah tanah (*piping*), untuk itu harus dihitung gaya-gaya yang bekerja pada bangunan bendung, kemudian gaya-gaya yang bekerja pada bangunan itu dianalisis dan dikontrol stabilitasnya melakukan faktor-faktor keamanannya. Dalam penelitian ini saya sebagai penulis mencoba analisis stabilitas suatu bendung dan menjadikan Bendung D.I Kerasaan sebagai objek studi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas di atas, maka dapat di ambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Apakah bendung pada daerah irigasi Kerasaan memiliki stabilitas?
2. Berapa angka keamanan stabilitasnya bendung?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Stabilitas bendung dianalisis terhadap gaya guling (*overtuning*), geser (*sliding*), eksentrisitas, daya dukung tanah, erosi bawah tanah (*Piping*) pada saat muka air normal dan muka air banjir
2. Angka keamanan bendung dihitung dan dihasilkan dengan syarat-syarat SNI Geoteknik terhadap gaya guling (*overtuning*)  $SF(\geq 2.00)$  , geser (*sliding*)  $SF(\geq 1.50)$ , eksentrisitas  $SF(\geq 3.5)$ , daya dukung tanah  $SF(\geq 3.00)$ , erosi bawah tanah (*Piping*)  $SF(\geq 1.6)$ , pada saat muka air normal, syarat SNI Geoteknik terhadap gaya guling (*overtuning*)  $SF(\geq 1.50)$  , geser (*sliding*)  $SF(\geq 1.30)$ , eksentrisitas  $SF(\geq 3.5)$ , daya dukung tanah  $SF(\geq 1.50)$ , erosi bawah tanah (*Piping*)  $SF(\geq 1.6)$ , pada saat muka air banjir

## 1.4 Tujuan Penelitian

Untuk menghindari lingkup penelitian yang terlalu luas, serta dapat memberikan arah yang lebih baik dan memudahkan dalam penyelesaian masalah sesuai dengan tuntutan yang ingin dicapai, maka dilakukan ruang lingkup penelitian yang dikerjakan. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya membahas tentang keamanan bendung Dearah Irigasi (D.I) Kerasaan.
2. Penelitian ini mencakup stabilitas bendung terhadap air normal dan terhadap banjir.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Bendung adalah suatu bangunan air dengan kelengkapannya yang dibangun melintang sungai atau sedetan yang dibuat untuk meninggikan elevasi muka air, sehingga air dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi suatu lahan pertanian untuk mengembangkan dan memanfaatkan potensi lahan dan sumber air hujan yang ada di daerah tersebut.

Bendung mempunyai manfaat yang sangat besar bagi kehidupan manusia seperti, irigasi, penyediaan air baku, sebagai PLTA, pengendali banjir, perikanan, pariwisata, dan olahraga air. Namun disisi lain juga menyimpan potensi bahaya yang sangat besar, dimana bila bendungan mengalami keruntuhan dapat mengakibatkan bencana yang sangat dasyat di daerah hilir berupa banjir bandang yang mengancam manusia harta benda, dan harta milik (Sosorodarsono. S 1997).

##### **2.1.1 Klasifikasi Bendung**

Adapun klasifikasi bendung dijelaskan sebagai berikut:

1. Bendung berdasarkan fungsinya:
  - a. Bendung penyadap, digunakan sebagai penyadap aliran sungai untuk berbagai keperluan seperti untuk irigasi, air baku, dan sebagainya.
  - b. Bendung pembagi banjir, dibangun di percabangan sungai untuk mengatur muka air sungai, sehingga terjadi pemisahan antara debit banjir dan debit air normal sesuai dengan kapasitasnya.
  - c. Bendung penahan pasang, dibangun dibagian sungai yang dipengaruhi pasang surut air laut antara lain untuk mencegah masuknya air asin.
2. Bendung berdasarkan tipe strukturnya:
  - a. Bendung tetap adalah bendung yang tinggi pembendungannya tidak dapat di ubah, sehingga muka air di hulu bendung tidak dapat diatur sesuai yang dikendalikan atau elevasi muka air di hulu bendung sesuai dengan debit air sungai yang melimpas. Bendung tetap biasanya di bangun pada daerah tengah dan hulu sungai

- b. Bendung gerak, bendung gerak adalah jenis bendung yang tinggi pembendung dapat di ubah sesuai keinginan. Pada bendung gerak elevsai muka air di hulu dapat dikendalikan naik atau turun sesuai yang dikehendaki dengan membuka atau menutup pintu air. Bendung gerak biasanya dibangun pada hilir sungai atau muara
3. Berdasarkan dari segi sifatnya
- a. Bendung permanen, seperti bendung pasangan batu, beton, dan kombinasi beton dan pasangan batu.
  - b. Bendung semi permanen, seperti bendung bronjong.
  - c. Bendung darurat, yaitu bendung yang dibuat oleh masyarakat perdesaan seperti bendung tumpukan batu dan sebagainya.

### 2.1.2 Komponen Utama Bendung

Bendung tetap yang terbuat dari pasangan batu untuk keperluan irigasi terdiri atas berbagai komponen, yaitu:

1. Tubuh bendung, antara lain terdiri dari ambang tetap dan mercu bendung dengan bangunan peredam energi. Terletak kurang lebih tegak lurus arah aliran sungai saat banjir dan sedang. Maksudnya agar arah aliran utama menuju bendung dan yang keluar dari bendung terbagi merata, sehingga tidak menimbulkan pusaran-pusaran aliran di udik bangunan pembilas dan *intake*.



*Gambar 2. 1 Bangunan Bendung*

Sumber : [dpu.kulonprogokab.go.id](http://dpu.kulonprogokab.go.id)

2. Bangunan *intake*, antara lain terdiri dari lantai/ambang dasar, pintu, dinding banjir, pilar penempatan pintu, saringan sampah, jembatan pelayan, rumah pintu, dan perlengkapan lainnya. Bangunan ini terletak tegak lurus ( $90^0$ ) atau

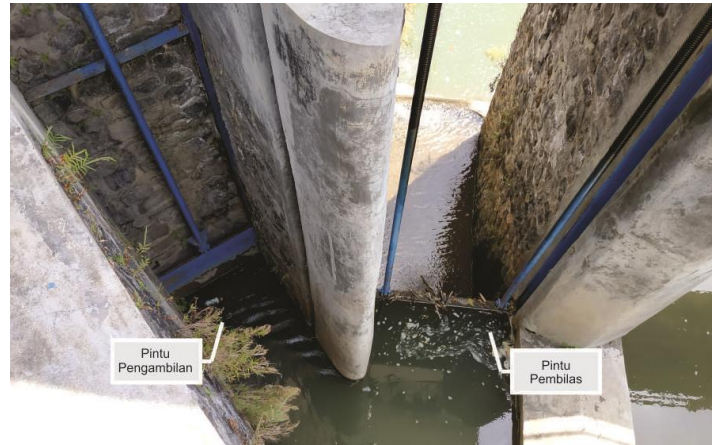
menyudut ( $45^0-60^0$ ) terhadap sumbu bangunan bilas. Diupayakan berada di tikungan luar aliran sungai, sehingga dapat mengurangi sedimen yang akan masuk ke *intake*. Pada sistem air baku dengan kapasitas pasok yang kecil maka intakenya cukup sederhana, misalnya hanya sebuah pipa dengan saringan yang dibenamkan ke dalam badan air. Namun untuk sistem air baku dengan kapasitas besar yang melayani sistem penyediaan air minum skala besar atau banyak sistem penyediaan air minum maka bangunan intake tidak sederhana lagi. Pada Intake yang berkapasitas besar, sistem masuknya air ke dalam intake dapat berupa suatu bangunan besar seperti menara atau bangunan besar yang terbenam di dalam badan air.



*Gambar 2. 2 Bangunan Intake*  
*Sumber : Dinas Sumber Daya Air*

3. Bangunan pembilas, dengan *indersluice* atau tanpa *indersluice*, pilar penempatan pintu, saringan sampah, pintu bilas, jembatan pelayan, rumah pintu, saringan batu dan perlengkapan lainnya. Terletak berdampingan dan satu kesatuan dengan *intake*, di sisi bentang sungai dan bagian luar tembok pangkal bendung, dan bersama-sama dengan intake, dan tembok pangkal udik yang diletakkan sedemikian rupa dapat membentuk suatu tikungan luar aliran (*coidal flow*).

Aliran ini akan melemparkan angkutan sedimen ke arah luar intake/bangunan pembilas menuju tubuh bendung, sehingga akan mengurangi jumlah angkutan sedimen dasar masuk ke intake.



*Gambar 2. 3 Bangunan Pembilas*  
Sumber : [dpu.kulonprogokab.go.id](http://dpu.kulonprogokab.go.id)

4. 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.



*Gambar 2. 4 Bangnan Kantong Lumpur*  
Sumber : [dpu.kulonprogokab.go.id](http://dpu.kulonprogokab.go.id)

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.

### 2.1.3 Syarat – Syarat Kontruksi Bendung

Syarat bendung harus memenuhi beberapa faktor yaitu:

1. Bendung harus stabil dan mampu menahan tekanan air pada waktu banjir.
2. Pembuatan bendung harus memperhitungkan kekuatan daya dukung tanah dibawahnya.
3. Bendung harus dapat menahan bocoran (*seepage*) yang disebabkan oleh aliran air sungai dan aliran air yang meresap kedalam tanah.
4. Tinggi ambang bendung harus dapat memenuhi tinggi air minimum yang diperlukan untuk seluruh daerah irigasi.
5. Bentuk peluap harus diperhitungkan, sehingga air dapat membawa pasir, kerikil dan batu -batu dari sebelah hulu dan tidak menimbulkan kerusakan pada tubuh bendung.

### 2.1.4 Pemilihan Lokasi Pembangunan Bendung

Pemilihan lokasi bendung harus di dasarkan atas beberapa faktor-faktor sebagai berikut:

1. Keadaan topografi
  - a. Dalam hal ini semua rencana daerah irigasi dapat terairi, sehingga harus dilihat elevasi sawah tertinggi yang akan diari.
  - b. Bila elevasi sawah tertinggi yang akan terdiri telah diketahui maka elevasi mercu bendung dapat ditetapkan.
  - c. Dari kedua hal di atas, lokasi bendung dilihat dari segi topografi dapat diseleksi.
2. Keadaan hidrologi

Dalam pembuatan bendung, yang patut diperhitungkan juga adalah faktor:

  - a. Faktor-faktornya hidrologinya, karena menentukan lebar dan panjang bendung serta tinggi bendung tergantung pada debit rencana.
  - b. Faktor yang diperhitungkan, yaitu masalah banjir rencana, perhitungan debit rencana, curah hujan efektif, distribusi curah hujan, unit hidrograf, dan banjir di site atau bendung.
3. Kondisi topografi dilihat dari lokasi, bendung harus memperhatikan beberapa aspek, yaitu:
  - a. Ketinggian bendung tidak terlalu tinggi

- b. Trase saluran induk terletak ditempat yang baik.
4. Kondisi hidrologi dan morfologi
  - a. Pola aliran sungai meliputi kecepatan dan arahnya pada waktu debit banjir.
  - b. Kedalaman dan lebar muka air pada waktu debit banjir.
  - c. Tinggi muka air pada debit banjir rencana.
  - d. Potensi dan distribusi angkutan sedimen.
5. Kondisi tanah pondasi

Bendung harus ditempatkan di lokasi dimana tanah pondasinya cukup baik sehingga bangunan akan stabil. Faktor lain yang harus dipertimbangkan juga yaitu potensi kegempaan dan potensi gerusan karena arus dan sebagainya.
6. Biaya pelaksanaan

Biaya pelaksanaan pembangunan bendung juga menjadi salah satu faktor penentu pemilihan lokasi pembangunan bendung. Dari beberapa alternatif lokasi ditinjau juga dari segi biaya yang paling murah dan pelaksanaan yang tidak terlalu sulit.

## **2.2 Analisis Stabilitas Bendung**

Analisis stabilitas bendung adalah proses memeriksa apakah bendung atau struktur yang digunakan untuk mengendalikan aliran air memiliki stabilitas yang memadai untuk mengatasi tekanan air, gaya-gaya eksternal dan beban-beban lainnya.

### **2.2.1 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Bendung**

Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan bendung dan mempunyai arti penting dalam perencanaan adalah:

1. Tekanan air dalam dan luar.
2. Tekanan lumpur (*sediment pressure*)
3. Gaya gempa
4. Berat bangunan
5. Reaksi pondasi

### 2.2.2 Tekanan Air

Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatik dan gaya hidronamik. Tekanan hidrostatik 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 horizontal dan vertikal dikerjakan secara terpisah. Tekanan air dinamik jarang diperhitungkan untuk stabilitas bangunan bendung dengan energi rendah.

Bangunan bendung mendapat tekanan air bukan hanya pada permukaan luarnya, tetapi juga pada dasarnya dan dalam tubuh bangunan itu. Gaya tekan keatas, yakni istilah umum tekanan air dalam, menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan atasnya.

Rumus gaya tekan keatas untuk bangunan yang didirikan pada pondasi batuan adalah:

$$W_u = \gamma_w [ h_2 + \frac{1}{2} \varepsilon ( h_1 - h_2 ) ] A \dots\dots\dots(2. 1)$$

Dimana:

C = proporsi luas dimana tekanan hidrostatik bekerja (c= 1, untuk semua tipe pondasi)

$\gamma_w$  = berat jenis air (kN/m<sup>3</sup>)

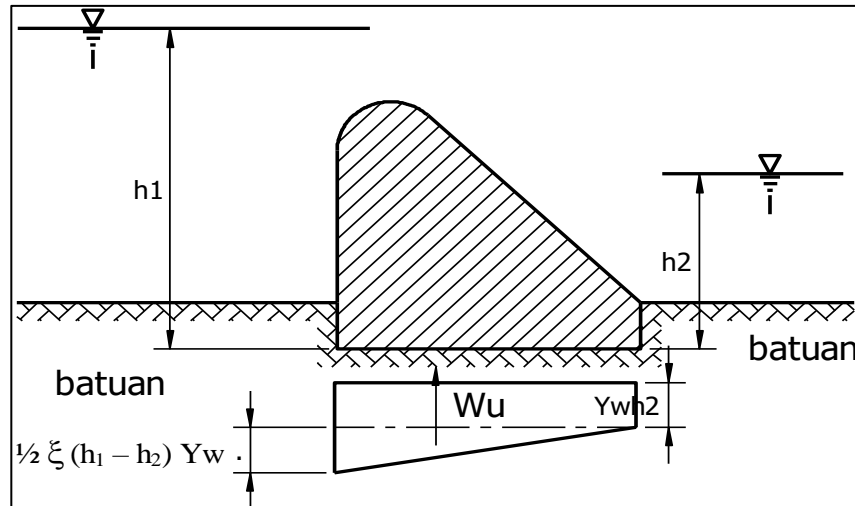
$h_2$  = kedalaman air hilir (m)

$\varepsilon$  = proporsi tekanan (*proportion of net head*)

$h_1$  = kedalaman hulu (m)

A = luas dasar (m<sup>2</sup>)

$W_u$  = gaya tekanan ke atas *resultante* (kN)



Gambar 2. 5 Gaya Angkat Bangunan Yang di Bangun Pada Pondasi Buatan  
(Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP – 02, 2013)

Tabel 2. 1 Harga-harga  $\epsilon$

Tipe pondasi buatan	$\epsilon$ (proporsi tekanan)
Berlapis horizontal	1,00
Sedang, pejel (massive)	0,67
Baik, pejel	0,50

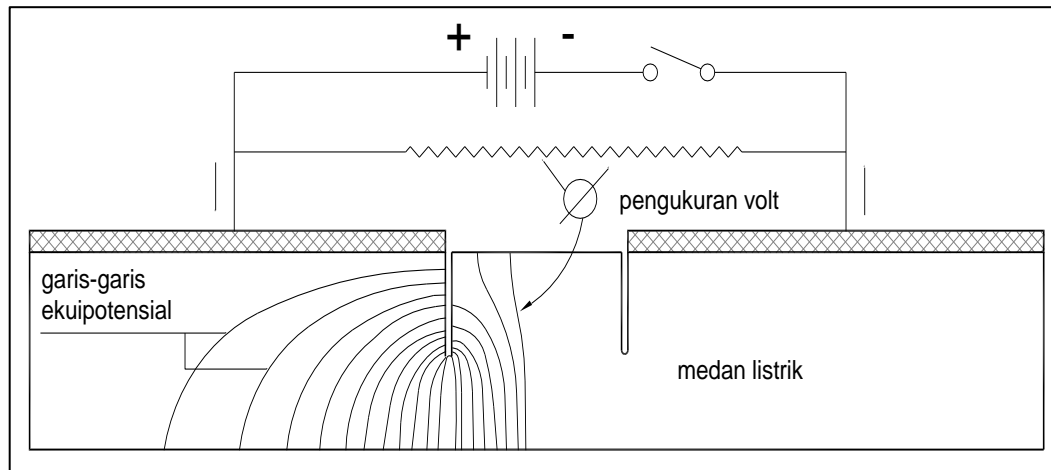
Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02,2013

Gaya tekan ke atas untuk bangunan pada permukaan tanah dasar (*subgrage*) lebih rumit. Gaya angkat pada pondasi itu dapat ditemukan dengan membuat jaringan aliran (*flownet*), atau dengan asumsi-asumsi yang digunakan oleh Lane untuk teori angka rembesan (*weighted ereep theory*). Gaya tekan atas untuk bangunan pada permukaan tanah dasar (*subgrade*) lebih rumit. Gaya angkat pondasi itu dapat ditemukan dengan membuat jaringan aliran (*flownet*). Dalam hal ini ditemukan kesulitan berupa keterbatasan waktu pengerjaan dan tidak tersedianya perangkat lunak untuk menganalisa jaringan aliran, maka perhitungan dengan asumsi-asumsi yang digunakan oleh Lane untuk teori angka rembesan (*weighted creep theory*).

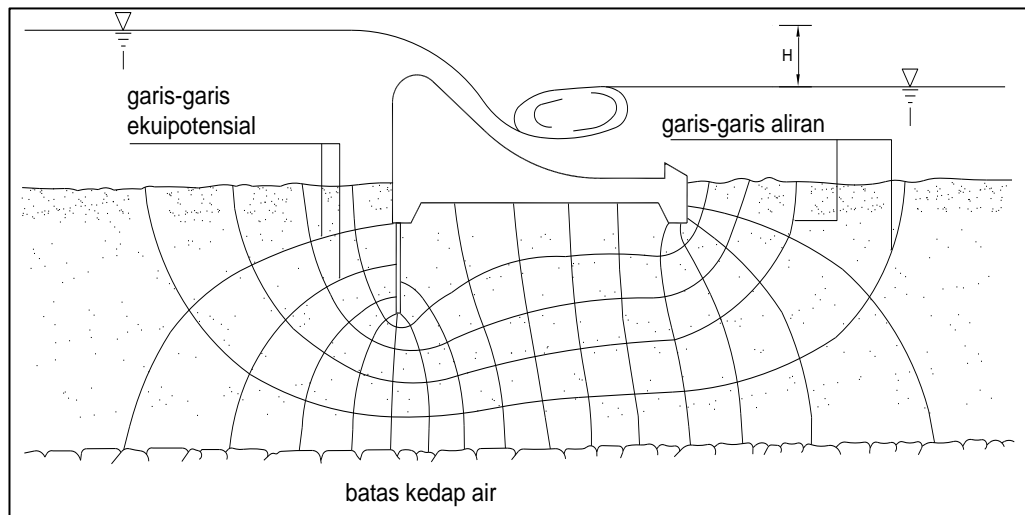
Jaringan aliran dapat dibuat dengan:

1. Plot dengan tangan.
2. Analog dengan tangan.
3. Menggunakan metode numeris (*numerical method*).

Dalam metode analog listrik, aliran air melalui pondasi dibandingkan dengan aliran listrik daya-antar konstan. Besarnya voltase sesuai dengan tinggi iezometrik, daya-antar dengan kelulusan tanah dan aliran listrik dengan kecepatan air (lihat gambar 2.2). untuk prmbuatan jaringan aliran bagi bangunan utama yang dijelaskan disini, biasanya cukup plot dengan tangan saja. Contoh jaringan aliran dibawah bendung pelimpah diberikan pada gambar 2.3



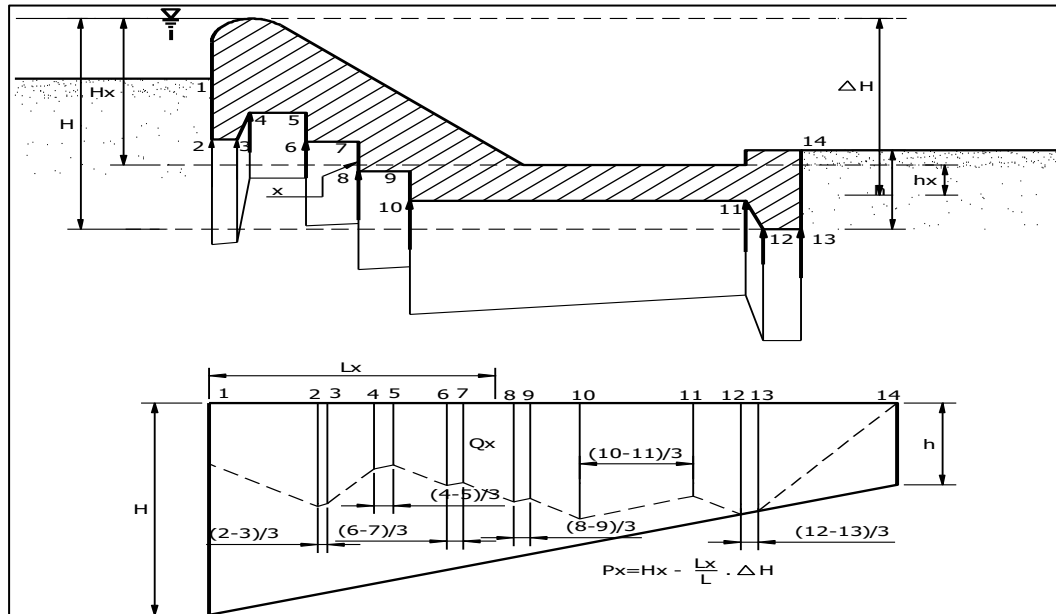
*Gambar 2. 6 Kontruksi Jaringan Aliran Menggunakan Analog Listrik  
Sumber: standar Perencanaan Irigsi KP – 02, 2013*



*Gambar 2. 7 Contoh jaringan aliran dibawah dan pasangan batu pada pasir  
Sumber: Standar Perencanaan Irigsi KP – 02, 2013*

Dalam teori rembesan Lane, diandaikan bahwa bidang horozontal memiliki daya tahan terhadap aliran (rembesan) 3 kali lebih lemah dibandingkan dengan bidang vertikal. Ini dapat dipakai untuk menghitung gaya tekan ke atas di bawah

bendung dengan membagi beda tinggi energi pada bendung sesuai dengan panjang relatif di sepanjang pondasi.



Gambar 2. 8 Gaya angkat pada pondasi bendung  
Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP – 02, 2013

Dalam bentuk rumus, berarti bahwa gaya angkat pada titik x di sepanjang dasar bendung dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_x = H_x - \frac{L_x}{L} \Delta H \dots\dots\dots (2. 2)$$

Dimana:

$P_x$  = gaya angkat pada x ( $\text{kg/m}^2$ )

$L$  = panjang total bidang kontak bendung dan tanah bawah (m)

$L_x$  = jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai x (m)

$\Delta H$  = beda tinggi energi (m)

$H_x$  = tinggi energi di x (m)

Dan dimana L dan  $L_x$  adalah jarak relatif yang dihitung menurut cara Lane, bergantung kepada arah bidang tersebut. Bidang yang membentuk sudut  $45^\circ$  atau lebih terhadap bidang horizontal, dianggap vertikal.

### 2.2.3 Tekanan Lumpur

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

$$P_s = \frac{\gamma_s h^2}{2} \left( \frac{1 - \sin\theta}{1 + \sin\theta} \right) \dots\dots\dots (2. 3)$$

Dimana:

- $P_s$  = gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horizontal
- $\gamma_s$  = berat lumpur (kN)
- $h$  = dalam lumpur (m)
- $\theta$  = sudut gesekan dalam (derajat)

Beberapa andaian/asumsi dapat dibuat sebagai berikut:

$$\gamma_s = \tau_s \frac{G-1}{G} \dots\dots\dots (2. 4)$$

dimana:

- $\tau_s$  = berat volume kering tanah c16 kN/m ( $\approx 1.600$  kgf/m)
- $G$  = berat volume = 2,65

menghasilkan  $\gamma_s = 10$  kN/m<sup>3</sup> ( $\approx 1.000$  kgf/m<sup>3</sup>). Sudut gesekan dalam, yang diandaikan 30<sup>0</sup> untuk kebanyakan hal, menghasilkan:

$$P_s = 1,64 h^2 \dots\dots\dots (2. 5)$$

### 2.2.4 Gaya Gempa

Harga-harga gaya gempa diberikan dalam bagian parameter bangunan. Harga-harga tersebut didasarkan pada peta indonesia yang menunjukkan berbagai daerah dan resiko. Faktor minimum yang akan dipertimbangkan adalah 0,1 g (percepatan gravitasi) sebagai harga percepatan. Faktor ini hendaknya dipertimbangkan dengan cara mengalikan dengan massa bangunan sebagai gaya horizontal menuju ke arah yang paling tidak aman, yakni arah hilir. Koefisien gempa dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$a_d = n ( a_c * z )^m \dots\dots\dots (2. 6)$$

$$E = a_d / g \dots\dots\dots (2. 7)$$

Dimana:

$a_d$  = percepatan gempa rencana ( $\text{cm}/\text{dt}^2$ )

$n, m$  = koefisien untuk jenis tanah

$a_c$  = percepatan kejut dasar ( $\text{cm}/\text{dt}^2$ )

$E$  = koefisien gempa

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{cm}/\text{dt}^2$ )

$z$  = faktor yang bergantung kepada letak geografis

Tabel 2. 2 Koefisien jenis tanah

Jenis	n	m
Batu	2,76	0,71
Diluvium	0,87	1,05
Aluvium	1,56	0,89
Aluvium lunak	0,29	1,32

(Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-06, 2013)

Tabel 2. 3 Periode ulang dan percepatan dasar gempa,  $a_c$

Periode ulang (*) tahun	$a_c$ (*) (gal = $\text{cm}/\text{dt}^2$ )
20	85
100	160
500	225
1000	275

(Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-06, 2013)

### 2.2.5 Berat Bangunan

Berat bangunan bergantung kepada bahan yang dipakai untuk membuat bangunan tersebut. Untuk tujuan-tujuan perencanaan pendahuluan, boleh dipakai harga-harga berat volume dibawah ini:

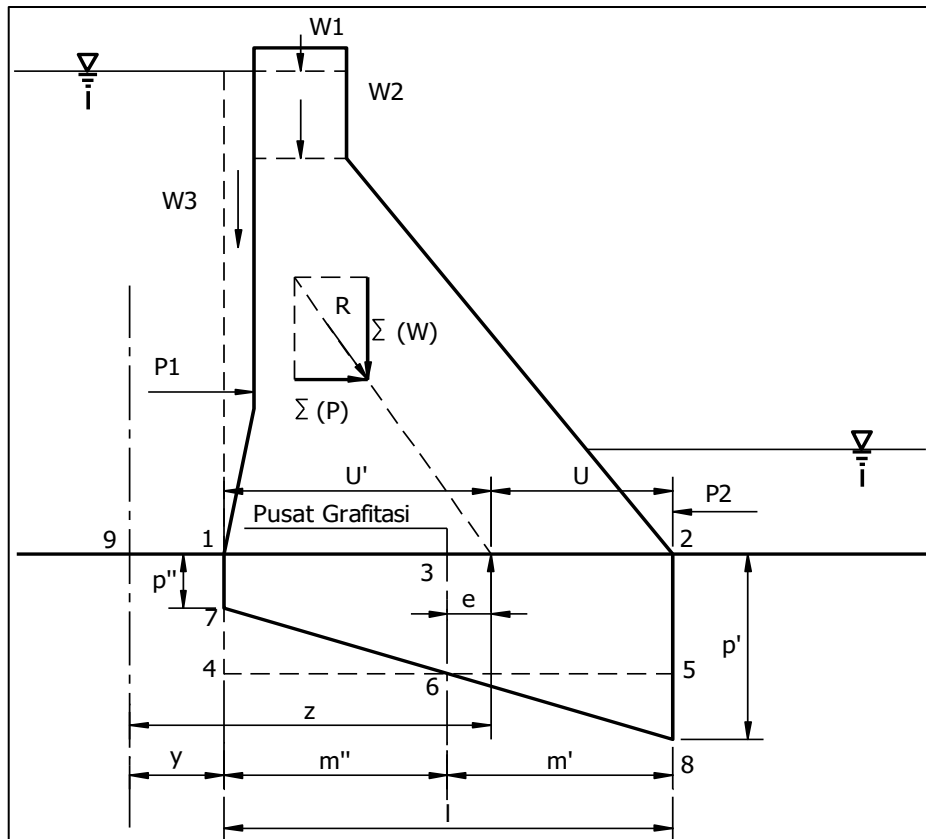
1. Pasangan batu kali  $22 \text{ kN}/\text{m}^3$  ( $2200 \text{ kgf}/\text{m}^3$ )
2. Beton tumbuk  $23 \text{ kN}/\text{m}^3$  ( $2300 \text{ kgf}/\text{m}^3$ )
3. Beton bertulang  $24 \text{ kN}/\text{m}^3$  ( $2400 \text{ kgf}/\text{m}^3$ )

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 kN/m<sup>3</sup>( 2400 kgf/m<sup>3</sup>).

### 2.2.6 Reaksi Pondasi

Reaksi pondasi boleh diandaikan berbentuk trapesium dan tersebar secara linier



Gambar 2. 9 Unsur-unsur persamaan distribusi tekanan pada pondasi  
Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2013

Pada Gambar 2.5 rumus-rumus berikut dapat diturunkan dengan mekanika sederhana. Tekanan vertikal pondasi adalah:

$$p = \frac{\Sigma(W)}{A} + \frac{\Sigma(W)e}{A} m \dots\dots\dots (2. 8)$$

dimana:

- p = tekanan vertikal pondasi
- $\Sigma(W)$  = keseluruhan gaya verikal, termasuk tekanan ke atas
- A = luas dasar (m<sup>2</sup>)
- e = eksentrisitas pembebanan, atau jarak dari pusat gravitasi dasar(base) sampai

$i$  = momen kelembaban (*momen of inertia*) dasar di sekitar pusat gravitasi

$m$  = jarak dan titik pusat luas dasar sampai ketitik di mana tekanan dikehendaki Untuk dasar segi empat dengan panjang  $\ell$  dan lebar 1,0 m,  $I = 1/12 \ell^3$  dan  $A = 1$ , rumus menjadi:

$$p = \frac{\Sigma(W)}{1} \left\{ 1 + \frac{12e}{\ell^2} m \right\} \dots \dots \dots (2.9)$$

Sedangkan tekanan vertikal pondasi pada ujung bangunan ditentukan dengan rumus:

$$p' = \frac{\Sigma(W)}{\ell} \left\{ 1 + \frac{6e}{\ell^2} m \right\} \dots \dots \dots (2.10)$$

dengan  $m' = m'' = 1/2 \ell$

$$p'' = \frac{\Sigma(W)}{\ell} \left\{ 1 + \frac{6e}{\ell^2} m \right\} \dots \dots \dots (2.11)$$

Bila harga  $e$  dari gambar 2.5 dari persamaan (2.12) lebih besar  $1/6$ , maka akan dihasilkan tekanan negatif pada ujung bangunan. Tekanan tarik pada tanah pondasi tidak izinkan, irisan yang mempunyai dasar segi empat sehingga resultante gayanya untuk semua sehingga kondisi pembebanan jauh pada daerah inti.

### 2.3 Kebutuhan Stabilitas

Ada tiga penyebab runtuhnya bangunan gravitasi, yaitu:

1. Gilincir (*sliding*)
  - (a) Sepanjang sendi horizontal atau hampir horizontal di atas pondasi
  - (b) Sepanjang pondasi, atau
  - (c) Sepanjang kumpuh horizontal atau hampir horizontal dalam pondasi
2. Guling (*overtuning*)
  - (a) Di dalam bendung
  - (b) Pada dasar (*base*), atau
  - (c) Pada bidang di bawah dasar
3. Erosi bawah tanah (*piping*).

#### 2.3.1 Ketahanan Terhadap Gelincir

Ketahanan bendung terhadap gelincir dinyatakan dengan besar  $tg\theta$ , sudut antara garis vertikal dan resultante semua gaya, termasuk gaya angkat, yang

bekerja pada bendung di atas semua bidang horizontal, harus kurang dari koefisien gesekan yang diizinkan pada bidang tersebut.

$$\frac{\Sigma(H)}{\Sigma(V-U)} = \tan \theta < \frac{f}{s} \dots\dots\dots (2. 12)$$

Dimana:

- $\Sigma(H)$  = keseluruhan gaya horizontal yang bekerja pada bangunan (kN)
- $\Sigma(V - U)$  = keseluruhan gaya vertikal (V) dikurangi gaya tekan keatas yang bekerja pada bangunan (kN)
- $\theta$  = sudut resultante gaya terhadap garis vertikal (derajat)
- f = koefisien gempa
- S = faktor keamanan

Harga-harga perakitan untuk koefisien gesekan f diberikan pada Tabel 2.4. Berikut.

Tabel 2. 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

Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2013

Untuk bangunan-bangunan kecil, seperti bangunan-bangunan yang dibicarakan pada pembasan ini, dimana 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. Tidak 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 akan didasarkan pada gesekan saja (persamaan 2.16) ternyata terlampaui, maka bangunan bisa dianggap aman jika faktor keamanan dari rumus itu yang mencakup geser (persamaan 2.17).

$$\Sigma (H) \leq \frac{f\Sigma (V-U)+c A}{S} \dots\dots\dots(2. 13)$$

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 2.16

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 kN/m<sup>2</sup> ( = 110 T/m<sup>2</sup>). Persamaan 2.17 mungkin hanya digunakan untuk bangunan sendiri. Kalau rumus untuk pondasi tersebut akan digunakan, perencana harus bahwa itu kuat dan berkualitas baik berdasarkan hasil pengujian. Untuk bahan pondasi nonkohesif harus digunakan rumus yang hanya mencakup gesekan (persamaan 2.16). Berikut.

### 2.3.2 Ketahanan Terhadap Guling

Agar bangunan aman terhadap guling, maka resultante semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horizontal, 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. Harga-harga untuk beton adalah sekitar 4,0 N/mm<sup>2</sup> atau 40 kgf/cm<sup>2</sup>, pasangan batu sebaiknya mempunyai kekuatan minimum 1,5 sampai 3,0 N/mm<sup>2</sup> atau 15 sampai 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Tiap bagian bangunan diandaikan berdiri sendiri dan tidak mungkin ada distribusi gaya-gaya melalui momen lentur (*bending moment*). Oleh sebab itu, tebal lantai olah dihitung sebagai berikut (lihat gambar 2.6).

$$dx = \geq S \frac{Px-Wx}{\gamma} \dots\dots\dots(2. 14)$$

dimana:

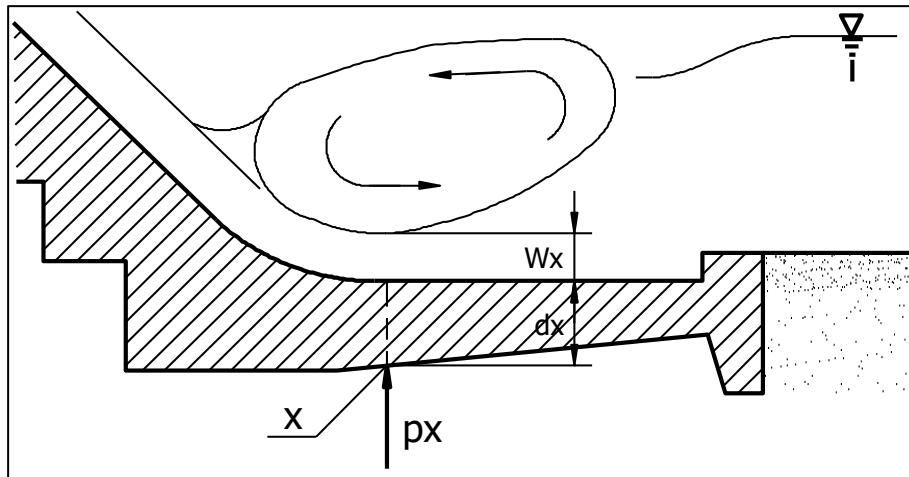
dx = tebal lantai pada titik x (m)

Px = gaya angkat pada titik x (kg/m<sup>2</sup>)

Wx = kedalaman air pada titik x (m)

γ = berat jenis bahan (kg/m<sup>3</sup>)

S = faktor keamanan ( = 1,5 untuk kondisi normal dan 1,25 untuk kondisi ekstrim)



Gambar 2. 10 Tebal lantai kolam olak  
Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2013

### 2.3.3 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 retaknya pangkal hilir bangunan.

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

- Metode Bligh
- Metode Lane

Metode Lane, disebut metode angka rembesan Lane (*weighted creep ratio method*), adalah yang dianjurkan untuk mencetak 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 yang lebih baik, tetapi penggunaannya lebih sulit.

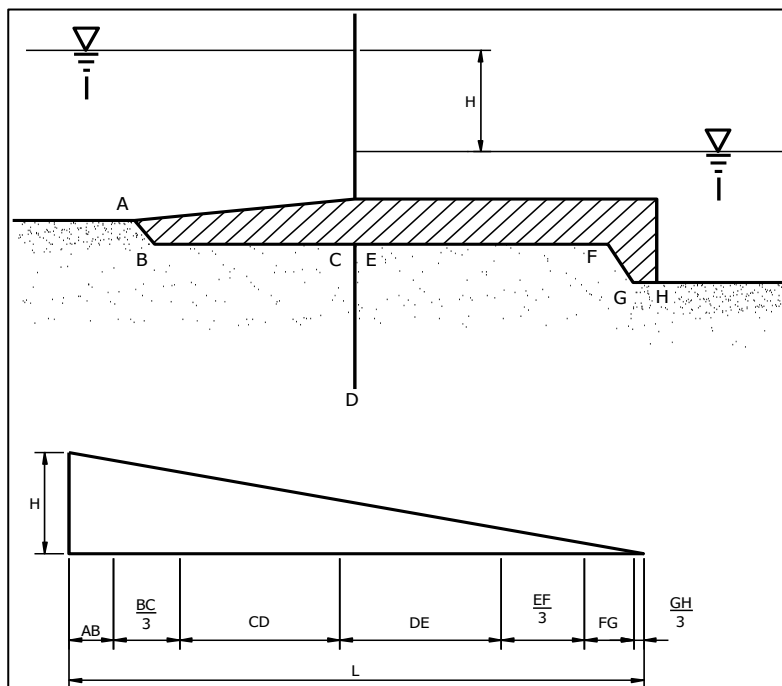
Metode Lane diilustrasikan pada gambar 2.7 dan memanfaatkan Tabel 2.5. Metode membandingkan panjang jalur rembesan di bawah bangunan di sepanjang bidang kontak bangunan/pondasi dengan beda tinggi muka air antara kedua sisi bangunan. Di sepanjang jalur perlokasi ini, kemiringan yang lebih curam dari  $45^0$  dianggap vertikal dan yang kurang dari  $45^0$  dianggap horizontal. Jalur vertikal dianggap memiliki daya tahan terhadap aliran 3 kali lebih kuat daripada jalur horizontal.

Oleh karena itu, adapun rumusnya sebagai berikut:

$$C_L = \frac{\sum L_v + 1/3 \sum L_h}{H} \dots\dots\dots (2. 15)$$

Dimana:

- $C_L$  = Angka rembesan Lane (lihat tabel 2.5)
- $L_v$  = jumlah panjang vertikal (m)
- $L_h$  = jumlah panjang horizontal (m)
- $H$  = beda tinggi muka air (m)



Gambar 2.11 Metode angka rembesan lane  
Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02

Tabel 2. 5 Harga-harga minimum angka rembesan Lane (C<sub>L</sub>)

No	Jenis	CL
1	Pasir sangat halus atau lanau	8,5
2	Pasir halus	7,0
3	Pasir sedang	6,0
4	Pasir kasar	5,0
5	Kerikil halus	4,0
6	Kerikil sedang	3,5
7	Kerikil kasar termasuk berangkal	3,0
8	Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5
9	Lempung lunak	3,0
10	Lempung sedang	2,0
11	Lempung keras	1,8
12	Lempung sangat keras	1,6

Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2013

Angka-angka rembesan pada tabel 2.5 di atas sebaiknya dipakai:

1. 100% jika tidak dipakai pembuang, tidak dibuat jaringan aliran dan tidak dilakukan penyelidikan dengan model
2. 80% kalau ada pembuangan air, tetapi tidak ada penyelidikan maupun jaringan aliran.
3. 70% bila semua bagian tercukup.

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 di asumsikan di bagian atas ambang ujung. Keamanan terhadap rekah bagian hilir bangunan bila dicek dengan rumus sebagai berikut:

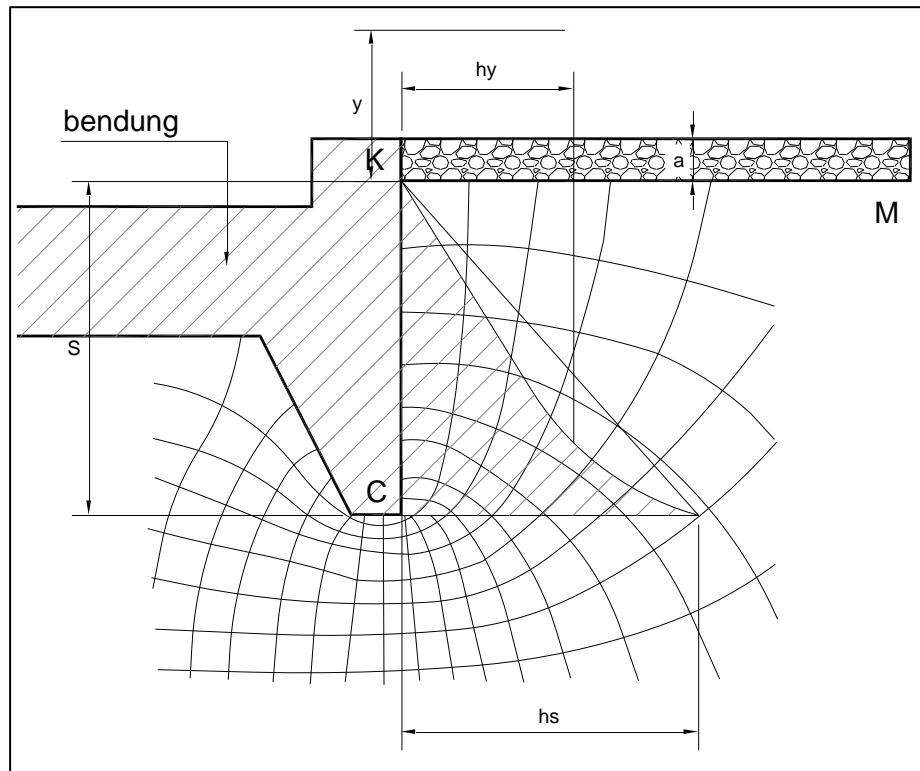
$$S = \frac{s(1+a/s)}{hs} \dots\dots\dots (2. 16)$$

Di mana:

- S = faktor keamanan
- s = kedalaman tanah (m)
- a = tebal lapisan pelindung (m)

$h_s$  = tekanan air pada kedalaman  $s$  ( $\text{kg/m}^2$ )

Gambar 2.8 memberikan penjelasan simbol-simbol yang digunakan. Tekanan air pada titik C dapat ditemukan dari jaringan aliran atau garis angka rembesan Lane. Rumus diatas mengandaikan bahwa volume tanah di bawah air dapat diambil 1 ( $\gamma_w = \gamma_s = 1$ ). Berat volume bahan pelindung dibawah air adalah 1. Harga keamanan S sekurang-kurangnya 2.



Gambar 2. 12 Ujunghilir bangunan: sketsa parameter-parameter stabilitas  
Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2013

## 2.4 Detail Bangunan Bendung

Detail bendungan merujuk pada informasi rinci tentang desain, struktur, komponen, dan fitur-fitur teknis dari sebuah bendungan.

### 2.4.1 Dinding Penahan

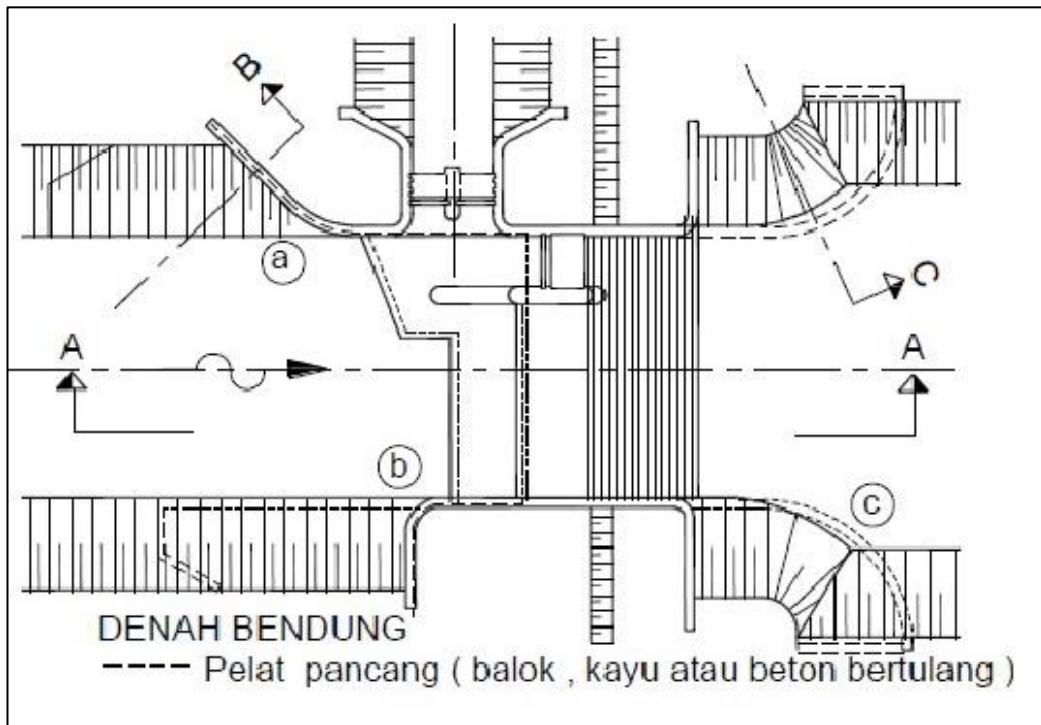
Dinding penahan gravitasi setinggi tidak lebih dari 3 m bisa direncanakan dengan potongan melintang empiris seperti diberikan pada gambar 2.10.

Dengan:

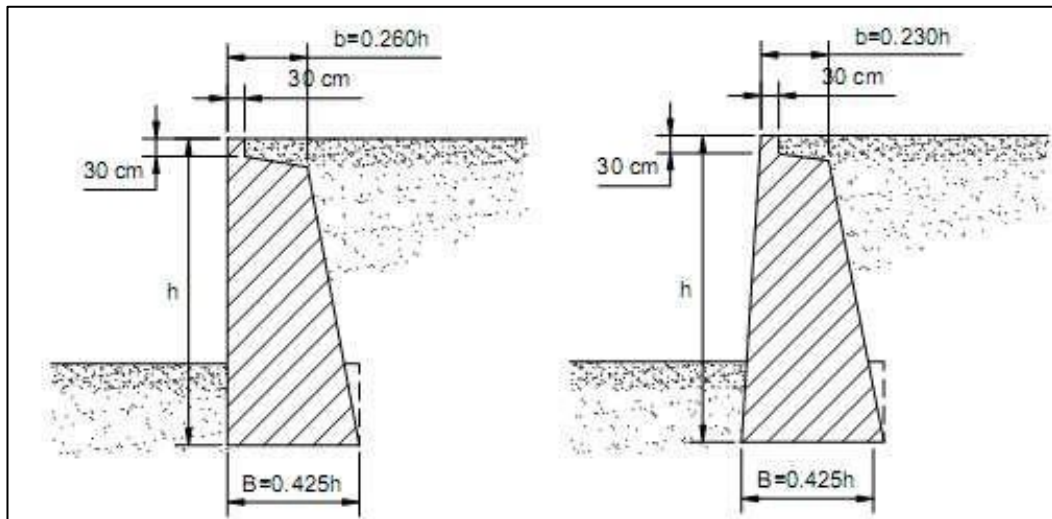
$b$  = 0,260  $h$  untuk dinding dengan bagian depan vertikal

$B$  = 0,424  $h$

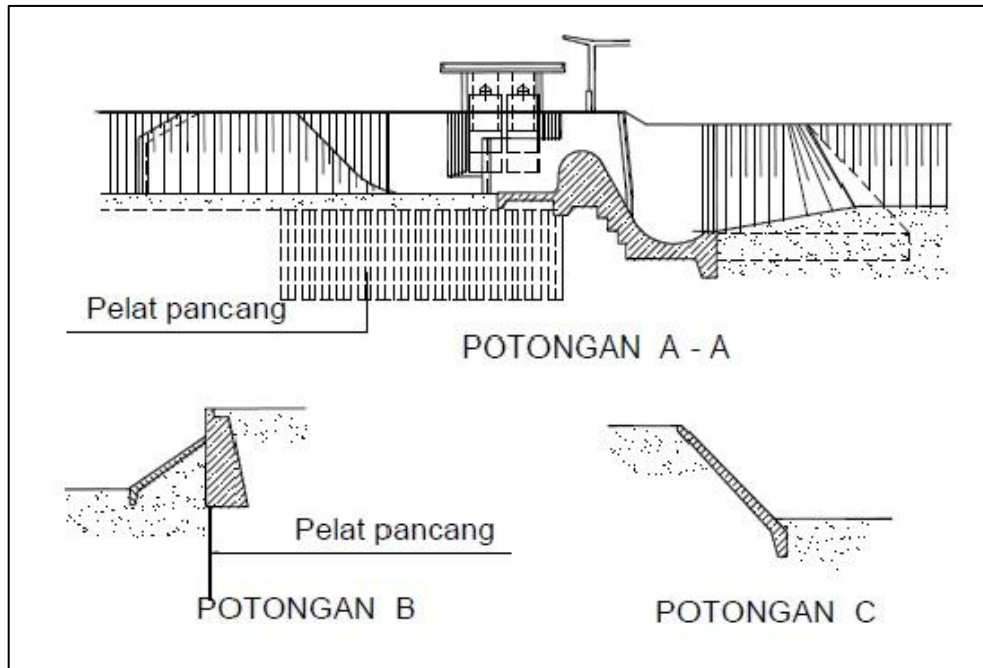
- $b = 0,230 h$  untuk dinding dengan bagian depan kurang dari 1:1/3  
 $B = 0,460 h$



Gambar 2.13 Denah Pelat Pancang  
 Sumber: Perencanaan Irigasi KP-02, 2013



Gambar 2. 14 Dinding Penahan Gravitasi penahan batu  
 Sumber: Perencanaan Irigasi KP-02, 2013



Gambar 2. 15 Perlindungan terhadap rembesan melibat pangkal bendung  
 Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2013

Dinding penahan yang lebih tinggi dan dinding penahan yang mampu menahan momen lentur (beton bertulang atau pelat pancang baja) harus direncana berdasarkan hasil-hasil perhitungan stabilitas. Perhitungan pembebanan tanah stabilitas di belakang dinding penahan dijelaskan dalam KP-06 Parameter Bangunan. Karena dinding penahan di sebelah hulu bangunan utama mungkin tidak dilengkapi dengan sarana-sarana pembuang akibat adanya bahaya rembesan, maka dalam melakukan perhitungan kita hendaknya mengendaikan tekanan air prnuh di belakang dinding. Kebutuhan stabilitas untuk bangunan-bangunan ini dapat dijelaskan seperti pada sub bab 2.4.2.

#### 2.4.2 Perlindungan Terhadap Erosi Bawah Tanah

Untuk melindungi bangunan dari bahaya erosi bawah tanah, ada beberapa cara yang bisa dilakukan. Kebanyakan bangunan hendaknya menggunakan kombinasi beberapa kontruksi lindung.

Pertimbangan utama dalam mambuat lindungan terhadap erosi bawah tanah adalah mengurangi kehilangan beda tinggi energi per satuan panajng pada jalur rembesan serta ketidakterusan (*discontinuties*) pada garis ini. Dalam perencanaan



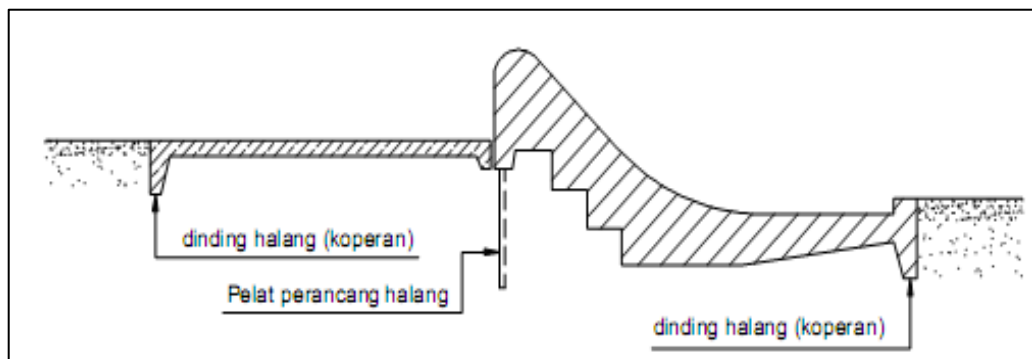
pasangan batu setebal 0,20 – 0,25 cm. Adalah pentingnya untuk menggunakan sekat air dari karet yang tidak akan dirusak adanya penurunan tidak merata.

Keuntungan dari pembuatan lantai hulu adalah bahwa biaya lebih murah dibanding dinding halang vertikal yang dalam karena yang disebut terakhir ini memerlukan engeringan dan penggalian. Tetapi, sebagaimana dikemukakan oleh Lane dalam teorinya, panjang horizontal rembesan adalah 3 kali kurang efektif dibanding panjang vertikal dengan panjang yang sama.

#### 2.4.2.2 Dinding Halang (*Cut – off*)

Dinding halang bisa berupa dinding beton bertulang atau pasangan batu, inti tanah kedap air atau pudel atau dengan pelat pancing baja atau kayu. Pelat pancang mahal dan harus dibuat dengan hati-hati untuk menciptakan kondisi yang benar-benar tertutup. Terdapatnya batu-batu besar atau kerikil kasar di dasar sungai tidak menguntungkan untuk prlat pancang yang kedap air. Tanah yang paling cocok untuk pelat pancang adalah tanah berbutir halus dan tanah berlapis horizontal.

Pudel pancang adalah tanah kedap air bisa merupakan dinding halang yang baik sekali, tetapi silit disambung ke bangunan itu sendiri. Metode yang dianjurkan untuk membuat dinding halang adalah dengan beton bertulang atau pasangan batu. Agar gaya tekan ke atas pada bangunan dapat sebanyak mungkin dikurangi, maka tempat terbaik untuk dinding halangan adalah di ujung hulu bangunan, yaitu di pangkal (awal) lantai hulu atau di bawah bagian depan tubuh (lihat Gambar 2.17)



Gambar 2. 17 Pemecah Arus  
Sumber: Standar Perencanaan KP-02, 2013

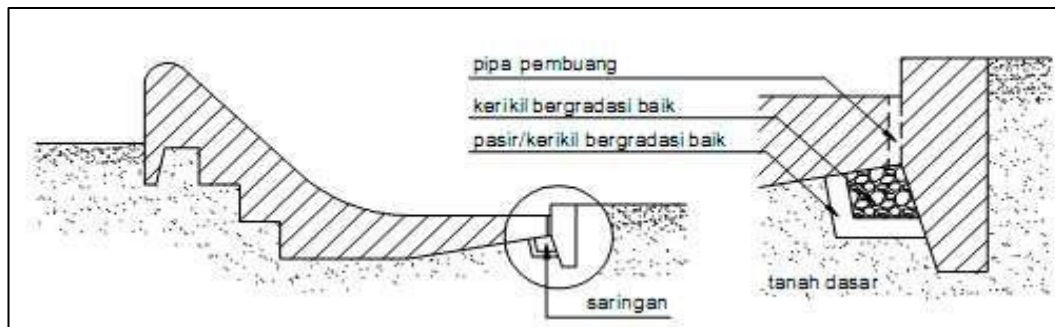
### 2.4.2.3 Alur Pembuang (*Filter*)

Alur pembuang dibuat untuk mengurangi gaya angkat di bawah kolam olak bendung pelimpah karena di tempat-tempat ini tidak cukup tersedia berat pengimbang dari tubuh bendung.

Untuk mencegah hilangnya bahan padat melalui pembuang ini, konstruksi sebaiknya dibuat dengan filter yang dipasang terbaik dari kerikil atau pasir bergradasi baik atau bahan filter sintesis. Gambar 2.13 memperlihatkan lokasi umum dipilih untuk menempatkan filter serta detail kontruksinya.

### 2.4.2.4 Kontruksi Pelengkap

Jika bagian-bagian bendung mempunyai kedalaman pondasi yang berbeda-beda, maka ada bahaya penurunan tidak merata yang mengakibatkan retak-retak dan terjadinya jalur-jalur pintasan erosi bawah tanah. Pentingnya untuk memeriksa kemungkinan-kemungkinan ini, serta memantapkan kontruksi di tempat-tempat ini jika diperlukan.



Gambar 2. 18 Alur pembuangan filter di bawah kolam olak  
Sumber: Standar Perencanaan KP-02, 2013

Selama pelaksanaan perlu selalu diingat untuk membuat sambungan yang bagus antara bangunan dan tanah bawah. Jika tanah bawah menjadi jenuh air akibat hujan, maka lapisan atas ini harus ditangani sedemikian sehingga mencegah kemungkinan terjadinya erosi bawah tanah atau jalur gelincir (*sliding path*).

### 2.4.3 Peredam Energi

Beda tinggi energi di atas bendung terhadap hilir dibatasi sampai 7 m. Jika ditemukan tinggi terjenuh lebih dari 7 m dan keadaan geologi dasar sungai relatif tidak kuat sehingga perlu kolam olak maka perlu dibuat bendung tipe *cascade*

yang mempunyai lebih dari satu kolam olak. Hal ini dimaksudkan agar energi terjunan dapat direduksi dalam dua kolam olak sehingga kolam olak sebelah hilir tidak terlalu berat merendam energi.

Keadaan demikian akan mengakibatkan lantai perendam dan dasar sungai dihilir koperan (*end sil*) dapat lebih aman.