

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Bendungan

Bendungan (menurut SNI 03-1731-1989) adalah setiap penahan buatan, jenis urugan atau jenis lainnya, yang menampung air atau dapat menampung air secara alamiah maupun buatan, termasuk fondasi, bukit/tebing tumpuan dan bangunan pelengkap beserta peralatannya. Dalam pengertian ini termasuk juga bendungan limbah. Kebanyakan bendungan-bendungan yang dibangun di Indonesia adalah bendungan urugan. Pemilihan tersebut berdasarkan pada kondisi topografi dan geologi wilayah Indonesia serta pertimbangan teknis dan juga ekonomi dalam perencanaannya. Tubuh bendungan dibangun dengan cara menimbunkan bahan-bahan seperti: batu, krikil, pasir, dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi sebagai pengempang atau pengangkat permukaan air yang terdapat di dalam waduk yang terletak di bagian hulu bendungan. kemudian air dalam waduk tersebut dapat dimanfaatkan untuk keperluan irigasi, air minum, industri, PLTA, dan lain-lain.

##### 2.1.1 Tipe Bendungan Berdasarkan Ukuran

Menurut Soedibyo (2003:3) terdapat 2 tipe bendungan, yaitu bendungan besar dan bendungan kecil.

##### 1. Bendungan besar (*large dams*)

Menurut ICOLD definisi bendungan besar adalah :

- Bendungan yang tingginya lebih dari 15 m, diukur dari bagian terbawah pondasi sampai ke puncak bendungan.
- Bendungan yang tingginya antara 10 m dan 15 m dapat disebut bendungan besar asal memenuhi salah satu atau lebih kriteria sebagai berikut :
  - ✓ Panjang puncak bendungan tidak kurang dari 500 m.
  - ✓ Kapasitas waduk yang terbentuk tidak kurang dari 1 juta m<sup>3</sup>.
  - ✓ Debit banjir maksimal yang diperhitungkan tidak kurang dari 2.000 m<sup>3</sup>/detik.

##### 2. Bendungan kecil (*small dams*)

Semua bendungan yang tidak memenuhi syarat sebagai bendungan besar.

### 2.1.2 Tipe Bendungan Berdasarkan Tujuan Pembangunannya

Menurut Soedibyo (2003:3) terdapat 2 tipe bendungan yaitu :

1. Bendungan dengan tujuan tunggal (*single purpose dams*) adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja, misalnya tujuan pembangunan untuk PLTA.
2. Bendungan serba guna (*multi purpose dams*) adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan, misalnya PLTA, air minum, irigasi, dan pengendali banjir.

### 2.1.3 Tipe Bendungan Berdasar Penggunaannya

Menurut Soedibyo (2003:7) pembagian tipe bendungan berdasar penggunaannya adalah :

1. Bendungan untuk membentuk waduk (*storage dams*) adalah bendungan yang dibangun untuk membentuk waduk yang berfungsi menyimpan air pada waktu kelebihan agar dapat dipakai pada waktu yang diperlukan.
2. Bendungan penangkap/pembelok air (*diversion dams*) adalah bendungan yang dibangun agar permukaan airnya tinggi sehingga dapat mengalirkan air ke dalam saluran air atau terowongan air.
3. Bendungan untuk memperlambat jalannya air (*detension dams*) adalah bendungan yang dibangun untuk memperlambat aliran air sehingga dapat mencegah terjadinya banjir. Terdapat 2 tujuan yaitu :
  - Untuk menyimpan air sementara kemudian dialirkan ke dalam saluran air di bagian hilir.
  - Untuk menyimpan air selama mungkin agar dapat meresap di daerah sekitarnya.

### 2.1.4 Tipe Bendungan Berdasarkan Jalan Air

Menurut Soedibyo (2003:8) tipe bendungan berdasarkan jalan air yaitu :

1. Bendungan untuk dilewati air (*overflow dams*) adalah bendungan yang dibangun untuk melewati air misalnya pada bangunan pelimpah.
2. Bendungan untuk menahan air (*non overflow dams*) adalah bendungan yang sama sekali tidak boleh dilewati air.

### 2.1.5 Tipe Bendungan Berdasarkan Konstruksi

Menurut Soedibyo (2003:9) pembagian tipe bendungan berdasarkan konstruksi yaitu :

1. Bendungan urugan (*fill dams, embankment dams*) menurut ICOLD adalah bendungan yang dibangun dari hasil penggalian bahan material tanpa tambahan bahan lain yang bersifat campuran secara kimia, jadi betul-betul bahan pembentuk bendungan asli.
2. Bendungan beton (*concrete dams*) adalah bendungan yang dibuat dengan konstruksi beton dengan tulangan maupun tidak.

Terdapat 4 (empat) tipe bendungan beton :

- a) Bendungan beton berdasarkan berat sendiri (*concrete gravity dams*) adalah bendungan beton yang direncanakan untuk menahan beban dan gaya yang bekerja padanya hanya berdasarkan berat sendiri.
- b) Bendungan beton dengan penyangga (*concrete buttress dams*) adalah bendungan beton yang mempunyai penyangga untuk menyalurkan gaya-gaya yang bekerja padanya. Tipe ini sering digunakan apabila sungainya sangat lebar dan kondisi geologinya baik.
- c) Bendungan beton berbentuk lengkung atau busur (*concrete arch dams*) adalah bendungan beton yang direncanakan untuk menyalurkan gaya yang bekerja padanya melalui pangkal tebing kiri dan kanan bendungan.
- d) Bendungan beton kombinasi (*combination concrete dams, mixed type concrete dams*) adalah kombinasi lebih dari satu tipe bendungan. Apabila suatu bendungan beton berdasar berat sendiri berbentuk lengkung disebut *concrete arch gravity dams* dan kemudian apabila bendungan beton merupakan gabungan beberapa lengkung, maka disebut *concrete multiple arch dams*.

### 2.1.6 Tipe Bendungan Berdasarkan Fungsi

Menurut Soedibyo (2003:28) tipe bendungan berdasarkan fungsi yaitu :

- a) Bendungan pengelak pendahuluan (*primary cofferdam*) adalah bendungan yang pertama dibangun di sungai pada waktu debit air rendah agar lokasi rencana bendungan pengelak menjadi kering yang memungkinkan pembangunannya secara teknis.
- b) Bendungan pengelak (*cofferdam*) adalah bendungan yang dibangun sesudah selesainya bendungan pengelak pendahuluan, sehingga lokasi rencana bendungan utama menjadi kering yang memungkinkan pembangunan secara teknis.
- c) Bendungan utama (*main dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi satu atau lebih tujuan tertentu.

- d) Bendungan sisi (*high level dam*) adalah bendungan yang terletak di sebelah kiri dan atau sisi kanan bendungan utama yang tinggi puncaknya juga sama. Ini dipakai untuk membuat proyek seoptimal mungkin, artinya dengan menambah tinggi pada bendungan utama diperoleh hasil yang sebesar-besarnya biarpun harus menaikkan sebelah sisi kiri dan atau kanan.
- e) Bendungan limbah industri (*industrial waste dam*) adalah bendungan yang terdiri atas timbunan secara bertahap untuk menahan limbah yang berasal dari industri.
- f) Bendungan pertambangan (*mine tailing dam*) adalah bendungan yang terdiri atas timbunan secara bertahap untuk menahan hasil galian pertambangan dan bahan pembuatnya pun berasal dari hasil galian pertambangan juga.

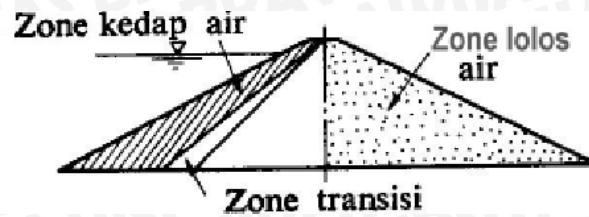
## 2.2 Klasifikasi Bendungan Urugan

Sehubungan dengan fungsinya sebagai penampung air atau pengangkat permukaan air di dalam waduk. Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1981:11) ditinjau dari penempatan serta susunan bahan yang membentuk tubuh bendungan untuk dapat memenuhi fungsinya dengan baik, maka bendungan urugan dapat digolongkan dalam 3 (tiga) tipe utama, yaitu:

- a) Bendungan urugan tipe homogen, jika bahan yang membentuk tubuh bendungan tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasinya (susunan ukuran butirannya) hampir seragam. Jadi tubuh bendungan secara keseluruhannya berfungsi ganda, yaitu sebagai bangunan penyangga dan penahan rembesan air.
- b) Bendungan urugan tipe zonal, apabila timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi yang berbeda-beda dalam urutan pelapisan tertentu. Pada bendungan tipe ini penyangga dibebankan kepada timbunan yang lulus air (zona lulus air), sedangkan penahan rembesan dibebankan pada timbunan kedap air (zona kedap air).

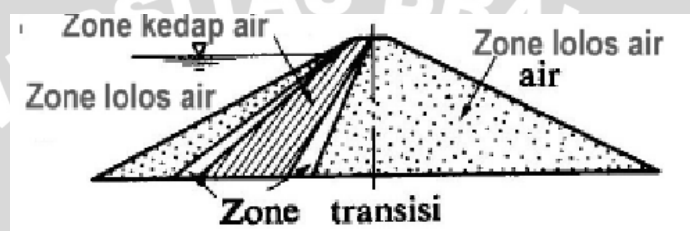
Berdasarkan letak dan kedudukan dari zona kedap air, maka tipe ini dibedakan menjadi 3 yaitu :

- Bendungan urugan zonal dengan tirai kedap air atau bendungan tirai (*front core fill type dams*) adalah bendungan zonal dengan zona kedap air berada di lereng undik bendungan tersebut. Seperti gambar 2.1.



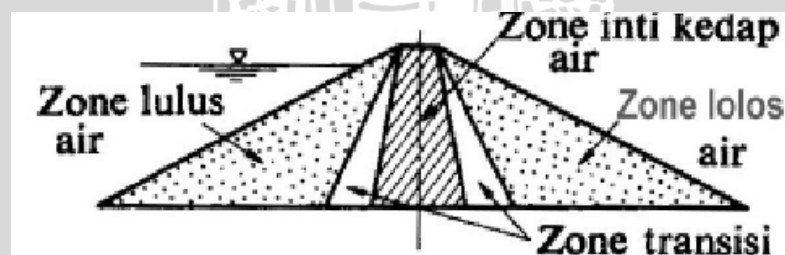
Gambar 2.1. Bendungan zonal dengan tirai kedap air  
Sumber : Sosrodarsono dan Takeda (1981:12)

- Bendungan urugan zonal dengan inti kedap air miring atau bendungan inti miring (*inclined core fill type dam*), adalah bendungan zonal yang zone kedap airnya terletak di dalam tubuh bendungan dan berkedudukan miring ke arah hilir, seperti gambar 2.2.



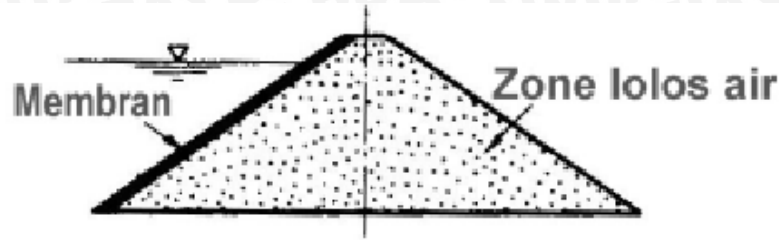
Gambar 2.2. Bendungan zonal inti miring  
Sumber : Sosrodarsono dan Takeda (1981:12)

- Bendungan urugan zonal dengan inti kedap air tegak atau bendungan inti tegak (*central core fill type dam*), adalah bendungan zonal yang zone kedap airnya terletak di dalam bendungan dengan kedudukan vertikal. Biasanya inti tersebut terletak di bidang tengah dari tubuh bendungan, seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Bendungan zonal inti kedap air vertikal  
Sumber : Sosrodarsono dan Takeda (1981:12)

- c) Bendungan urugan tipe sekat (*facing*), apabila di lereng hulu tubuh bendungan dilapisi dengan sekat tidak lulus air dengan kekedapan yang tinggi, seperti lembaran baja tahan karat, beton aspal, lembaran beton bertulang, hamparan plastik, susunan beton blok, dan lain-lain. Seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Bendungan sekat  
Sumber : Sosrodarsono dan Takeda (1981:12)

### 2.3 Pondasi Bendungan Urugan

Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1981:105) pondasi suatu bendungan harus memenuhi 3 persyaratan terpenting, yaitu :

- ✓ Mempunyai daya dukung yang mampu menahan beban dari tubuh bendungan dalam berbagai kondisi.
- ✓ Mempunyai kemampuan penghambat aliran filtrasi yang memadai, sesuai dengan fungsinya sebagai penahan air.
- ✓ Mempunyai ketahanan terhadap gejala-gejala sufosi (*piping*) dan sembulan (*boiling*) yang disebabkan oleh aliran filtrasi yang melalui lapisan-lapisan pondasi tersebut.

Sedangkan pembagian jenis-jenis pondasi bendungan menurut Soedibyo (2003:271-272) pada umumnya terdapat 4 jenis pondasi yang sering dijumpai, yaitu :

- ✓ Pondasi batuan (*rock foundation*)  
 Dari segi daya dukung tanah tidak ada masalah, terutama batuan yang tidak terkena pelapukan. Adanya pelapukan akan mengurangi daya dukung dan gaya geser tanah.
- ✓ Pondasi pasir dan krikil (*sand and gravel foundation*)  
 Dari segi daya dukung tanah dan tegangan geser biasanya tidak ada masalah terutama untuk bendungan urugan, sedang untuk bendungan beton memerlukan penelitian dan penyelidikan yang lebih mendalam.
- ✓ Pondasi tanah lembek/lunak (*soft clay and silt foundation*)  
 Karena tanah sifatnya kedap air maka rembesan air tidak menimbulkan masalah. Masalah yang biasa dihadapi adalah daya dukung tanahnya rendah, maka hanya cocok untuk bendungan urugan.
- ✓ Pondasi gabungan antara 2 atau lebih jenis tanah.

Jenis pondasi inilah yang sering dijumpai dilapangan. Dengan sendirinya menimbulkan permasalahan yang kadang-kadang sulit mengatasinya.

Menurut Soedibyo (2003:305) untuk menentukan perlu tidaknya sementasi pada pondasi digunakan angka Lugeon. 1 Lugeon adalah aliran air 1 liter per meter panjang lubang bor dengan tekanan sebesar 10 Kg/Cm<sup>2</sup> (10 atmosfer), angka ini kira-kira sama dengan koefisien kelulusan air sebesar 1 x 10<sup>-5</sup> Cm/detik. Apabila nilai nilai Lugeon ≤ 3, maka pada umumnya tidak perlu diadakan sementasi. Atau dapat dikatakan bahwa pada umumnya sementasi tidak diperlukan apabila hasil pengujian kurang dari 3 Lugeon.

Pada umumnya, data pertama yang di peroleh dari lokasi studi adalah data RQD yang diperoleh dari hasil eksplorasi pemboran. RQD (Rock Quality Designation), yaitu suatu penandaan atau penilaian kualitas batuan berdasarkan kerapatan kekar. Nilai RQD berfungsi untuk mengetahui kondisi batuan yang berada pada pondasi calon bendungan. RQD bisa didapat dari hasil pengeboran inti. Makin besar nilai RQD, maka frekuensi retakannya kecil.

Tabel 2.1. Sistem klasifikasi batuan dilapangan berdasarkan nilai RQD

RQD (Rock Quality Designation)	Deskripsi kualitas batuan
0 - 25 %	Sangat buruk
25 - 50 %	Buruk
50 - 75 %	Lumayan
75 - 90 %	Baik
90 - 100 %	Sangat baik

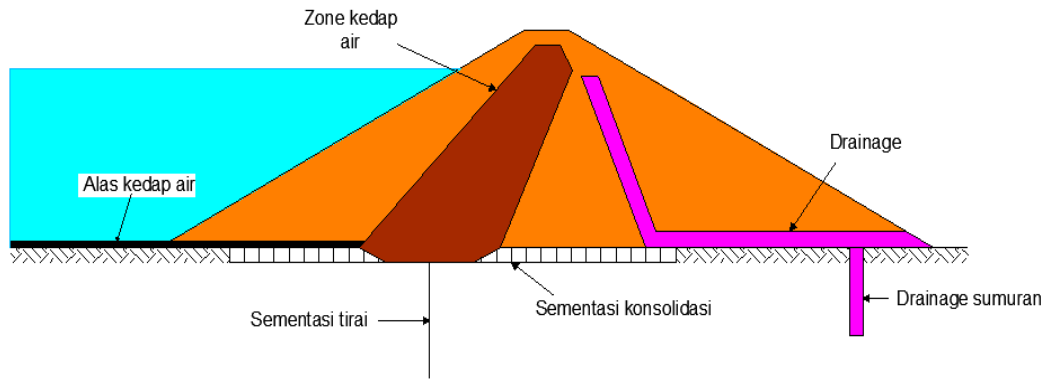
Sumber : ASTM *Rock classification systems for engineering purposes* 1988

#### 2.4 Perbaikan Pondasi Bendungan

Menurut Soedibyo (2003:275) untuk dapat mengadakan perbaikan pondasi harus diketahui terlebih dahulu jenis dan sifat-sifat batuan yang ada.

Adapun tujuan dari perbaikan pondasi adalah :

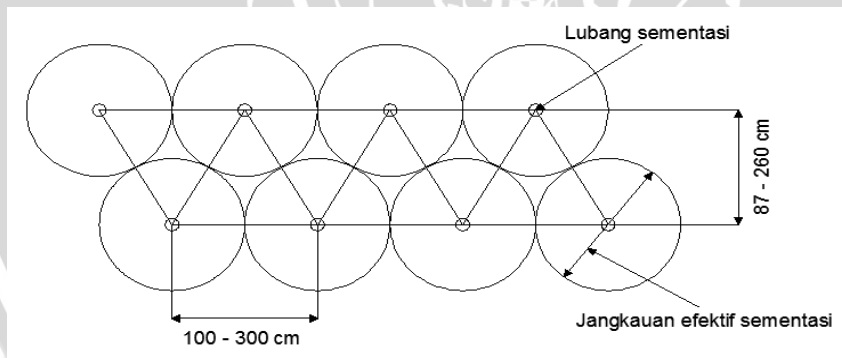
- Agar tegangan tanah yang timbul sebagai akibat berat sendiri dari bendungan, tekanan air, gaya gempa, dan muatan-muatan yang bekerja padanya tidak melebihi daya dukung tanah pondasi bendungan maupun di tebing kiri dan kanannya.
- Agar rembesan air tidak timbul dibawah pondasi bendungan dan di abutmen bendungan tidak melampaui batas yang telah ditetapkan.



Gambar 2.5. Sistem pencegahan kebocoran pada bendungan urugan  
Sumber : Sosrodarsono dan Takeda (1981:107)

#### 2.4.1 Sementasi Tirai (*Curtain Grouting*)

Sementasi tirai ini dimaksudkan agar dalam lapisan pondasi terbentuk semacam tirai kedap air untuk mengurangi debit filtrasi melalui pondasi bendungan dengan cara memaksa aliran filtrasi mengalir melalui ujung bawah tirai tersebut. Karena air filtrasi mengalir melalui ujung bawah tirai, maka trayektori aliran filtrasi menjadi lebih panjang yang mengakibatkan berkurangnya debit filtrasi yang mengalir keluar bendungan, disamping itu akan mengurangi gaya keatas dibawah alas bendungan. (Sosrodarsono dan Takeda, 1981 : 107)



Gambar 2.6. Penempatan lubang-lubang sementasi  
Sumber : Sosrodarsono dan Takeda (1981:108)

Menurut Soedibyo (2003:295-296) untuk menentukan dalamnya lubang bor digunakan rumus yang dianjurkan oleh USBR sebagai berikut :

$$d = 0,33 H + C \quad (2 - 1)$$

dimana :

$d$  = kedalaman lubang yang terdalam (m)

$H$  = tinggi bendungan (m)

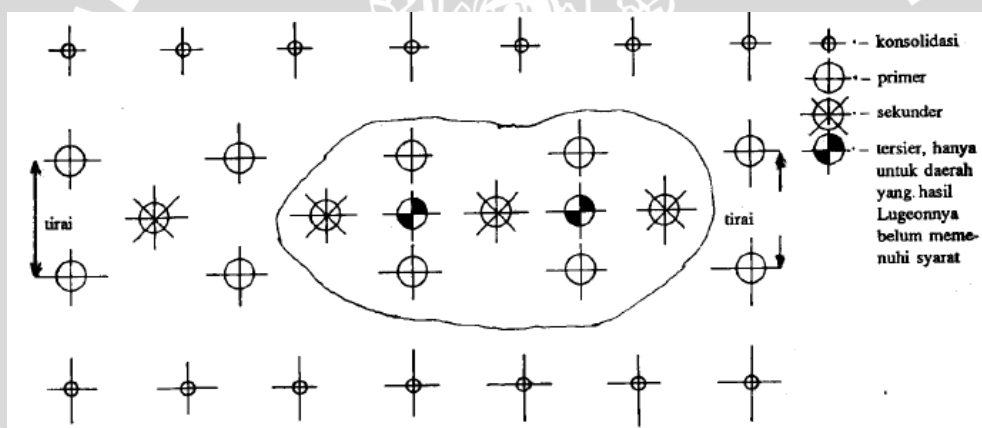


$C$  = angka konstan yang tergantung pada ukuran bendungan, besarnya rembesan yang diperkirakan dan keadaan batuan pondasi, biasanya diambil antara 7,5 m – 25 m.

#### 2.4.2 Sementasi Konsolidasi (*Consolidation Grouting*)

Merupakan sementasi yang sangat dangkal tetapi merata di atas permukaan pondasi yang tujuannya adalah memperkuat lapisan teratas dari pondasi serta menutup dan merekatkan kembali tekahan-rekahan yang biasanya banyak sekali terdapat pada lapisan teratas batuan, sehingga lapisan tersebut menjadi masif kembali. Biasanya pada lapisan teratas dari pondasi terdapat rekahan-rekahan yang sangat intensif yang diakibatkan oleh proses-proses degradasi dan pelapukan-pelapukan. Dengan sementasi ini, maka daya dukung lapisan akan meningkat serta kededapan terhadap air meningkat pula. (Sosrodarsono dan Takeda, 1981 : 109)

Kedalaman lubang bor berkisar antara 3 – 15 m dengan jarak 6 - 30 m sedangkan tekanannya kurang dari  $3,50 \text{ kg/cm}^2$ . (Soediby, 2003 : 293)



Gambar 2.7. Pola sementasi  
Sumber : Soediby (2003:293)

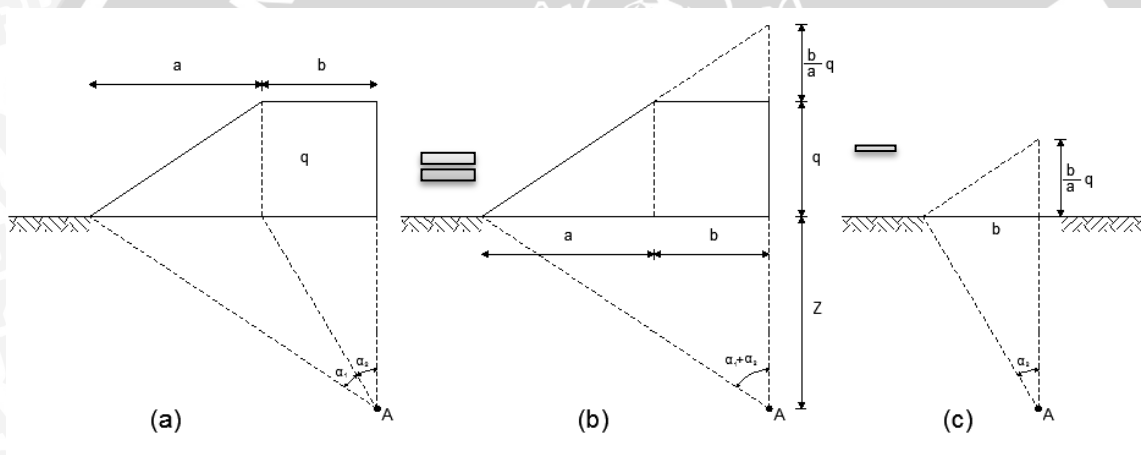
#### 2.4.3 Sementasi Selimut (*Blanket Grouting*)

Sementasi selimut (*blanket grouting*) biasa disebut sementasi alas merupakan sementasi dangkal yang semata-mata untuk meningkatkan kededapan air pada lapisan teratas dari pondasi atau tanah sekitarnya. Pada bendungan beton digunakan untuk mengurangi gaya tekan ke atas, sehingga dilaksanakan di sebelah hulu bendungan di dalam waduk. Pelaksanaan dan polanya seperti pada sementasi konsolidasi. (Soediby, 2003 : 294)

## 2.5 Distribusi Tegangan Dalam Tanah

Hitungan tegangan-tegangan yang terjadi di dalam tanah berguna untuk analisa tegangan regangan. Dalam hitungan tegangan di dalam tanah, tanah dianggap bersifat elastis, homogen, isotropis, dan terdapat hubungan linier antara tegangan dan regangan. Tegangan yang terjadi di dalam massa tanah dapat disebabkan oleh beban yang bekerja di permukaan atau oleh beban akibat berat sendiri tanah. Tegangan yang berasal dari beban di permukaan tanah berkurang bila kedalaman tanah bertambah. Sebaliknya, tegangan yang berasal dari berat sendiri tanah bertambah bila kedalamannya bertambah.

Dalam menentukan tambahan tegangan vertikal yang terjadi akibat beban terbagi rata berbentuk trapesium dengan panjang tak hingga, ditinjau titik A di dalam tanah yang mengalami pembebanan akibat beban terbagi rata berbentuk trapesium (Gambar 2.8a). Tegangan titik A ekuivalen dengan tegangan akibat beban yang diperlihatkan pada (Gambar 2.8b) dikurangi dengan tegangan di A akibat beban pada (Gambar 2.8c).



Gambar 2.8. Tambahan tegangan vertikal akibat beban timbunan  
Sumber : M. Das (1997:66)

Jadi, tambahan tegangan vertikal akibat beban menurut M. Das (1997:66) adalah :

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left( \left\{ \frac{a+b}{a} \right\} (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{b}{a} \alpha_2 \right) \quad (2-2)$$

Atau

$$\sigma_z = ql \quad (2-3)$$

$$q = \gamma h \quad (2-4)$$

Dimana :

$q$  = beban terbagi rata akibat timbunan ( $\text{kN/m}^2$ )

$\gamma$  = berat volume basah timbunan ( $\text{kN/m}^3$ )

$h$  = tinggi timbunan (m)

$\sigma_z$  = tegangan vertikal yang terjadi pada kedalaman  $z$  ( $\text{kN/m}^2$ )

$a$  = panjang lengan pada bidang miring timbunan (m)

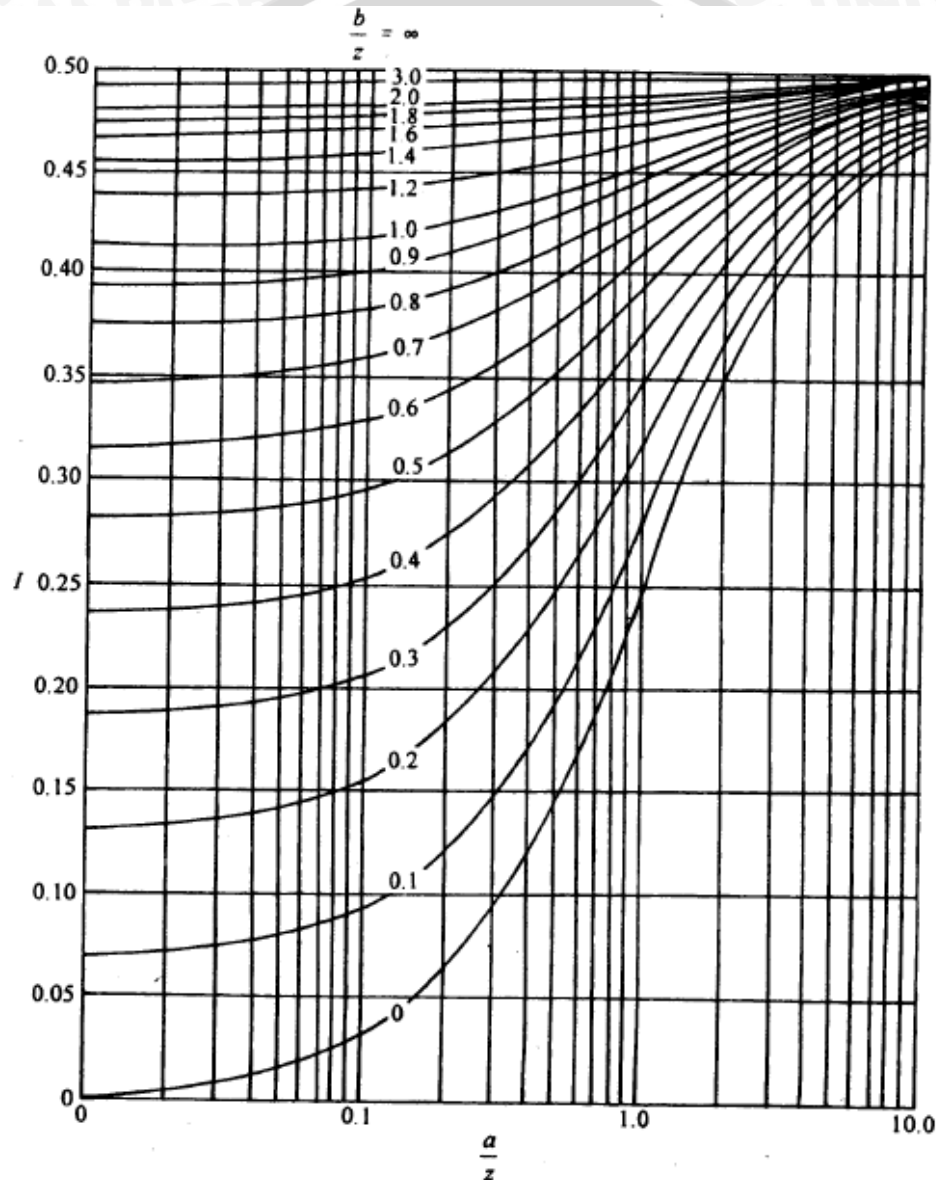
$b$  = panjang lengan pada bidang datar timbunan (m)

$z$  = kedalaman tegangan vertikal pada pondasi (m)

$\alpha_1$  = sudut pengaruh kedalaman berdasarkan panjang  $a$  ( $^\circ$ )

$\alpha_2$  = sudut pengaruh kedalaman berdasarkan panjang  $b$  ( $^\circ$ )

Nilai faktor pengaruh untuk berbagai macam  $a/z$  dan  $b/z$  dapat diperoleh dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Faktor pengaruh akibat beban timbunan (Osterberg, 1957)

Sumber : M. Das (1997:67)

## 2.6 Material Timbunan Tubuh Bendungan Urugan

Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1981:127) Bahan-bahan untuk bendungan urugan, merupakan bahan-bahan batu dan atau tanah yang digali dari daerah sekitar tempat

kedudukan calon bendungan dan type dari bendungan tersebut biasanya tergantung dari jenis, kualitas serta kuantitas bahan-bahan yang tersedia di daerah sekitar.

Secara umum bendungan urugan biasanya membutuhkan bahan material yang akan dipergunakan untuk zone-zone peralihan dan zone-zone lulus air. Material timbunan tubuh bendungan urugan dibagi menjadi 4 (empat) yaitu :

### 2.6.1 Zona Kedap Air

Material kedap air merupakan bahan-bahan yang mutlak diperlukan untuk pembangunan bendungan urugan serta stabilitas bendungan tersebut sangat tergantung pada karakteristik, kualitas serta kuantitas dari bahan yang dapat digali untuk penimbunan pada zona kedap air tersebut.

Sosrodarsono dan Takeda (1981:127) membagi beberapa kriteria dari persyaratan material timbunan zona kedap air antara lain adalah :

#### 1. Koefisien Filtrasi

Sebagai standard, koefisien filtrasi ( $k$ ) dari bahan yang digunakan untuk zone kedap air supaya tidak melebihi nilai  $1 \times 10^{-5}$  cm/detik dan untuk amannyadianjurkan agar menggunakan bahan dengan nilai ( $k$ ) yang tidak melebihi  $1 \times 10^{-5}$  cm/detik.

Hasil penelitian menunjukkan, bahwa apabila suatu bahan, dimana butiran halus yang dapat melalui saringan No.200 lebih rendah dari 7%, maka bahan tersebut biasanya lulus air. Akan tetapi apabila lebih dari 50% yang dapat melalui saringan tersebut, maka bahan tersebut juga tidak dapat dipergunakan sebagai bahan kedap air, karena bahan semacam ini plastisitasnya sangat tinggi sehingga mudah longsor dan runtuh.

#### 2. Kekuatan geser

Kekuatan geser suatu bahan terutama ditentukan oleh daya kohesi ( $C$ ) dan sudut geseran dalamnya ( $\phi$ ). Pada umumnya suatu bahan dengan harga  $D = 95$  sampai dengan 98 merupakan harga yang cukup baik untuk digunakan pada penimbunan tubuh bendungan. Sedangkan bahan-bahan dengan harga  $D = 90$  sampai dengan 95, biasanya digunakan untuk pembangunan bendungan yang rendah (kurang dari 30 meter) atau untuk bendungan dari timbunan bahan berbutir halus, dimana penimbulkannya dilakukan pada kondisi kelembaban di daerah yang lebih basah dari angka kadar air optimumnya.

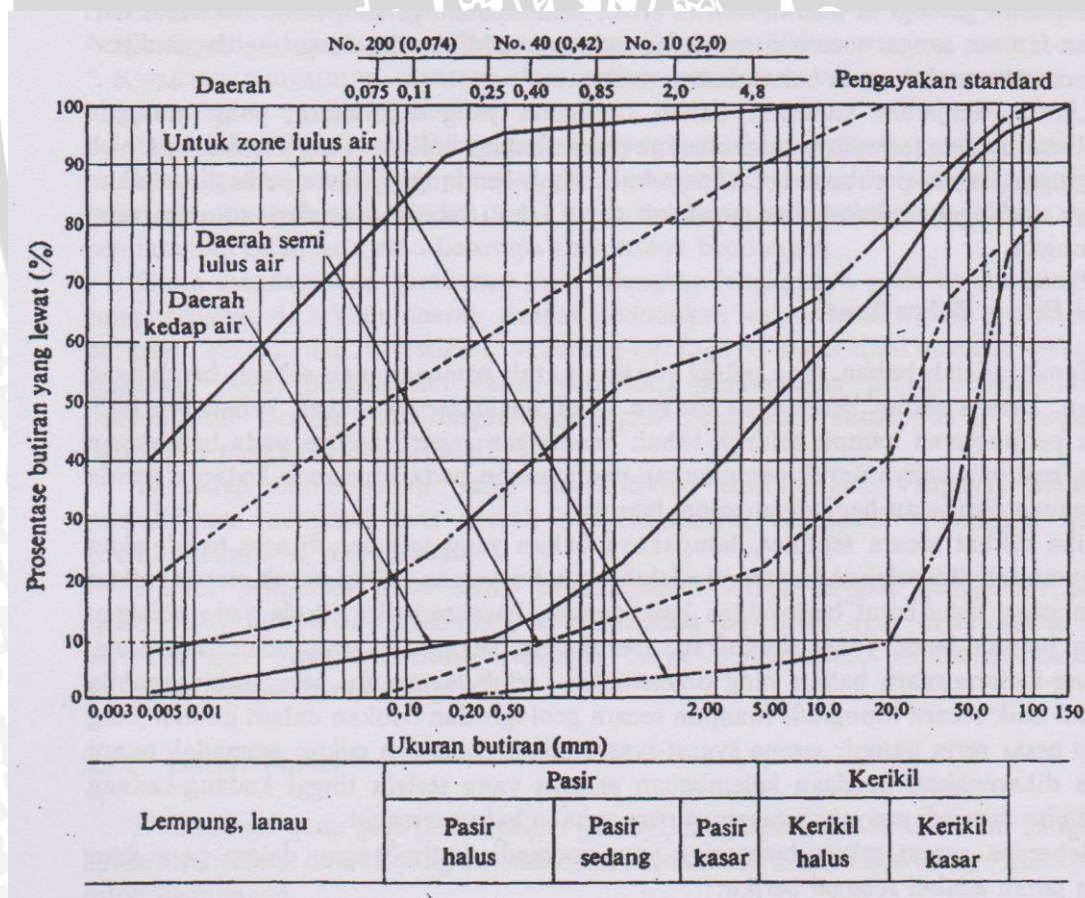
### 3. Karakteristik Proses Konsolidasi

Semakin halus gradasi suatu bahan dan semakin tinggi angka kadar airnya, maka tingkat konsolidasinya akan menjadi lebih besar dan tekanan air pori mungkin dapat terjadi pada saat berlangsungnya proses konsolidasi tersebut.

Dengan demikian dalam tubuh bendungan yang baru selesai ditimbun, selain tekanan-tekanan yang disebabkan oleh hasil pemadatan, maka timbul pula tekanan-tekanan tambahan yang diakibatkan oleh adanya proses-proses konsolidasi tersebut di atas (tekanan konsolidasi).

### 4. Zat-zat Organik yang Terkandung pada Material

Zat-zat organis, merupakan zat-zat yang mudah terurai yang mengakibatkan terjadinya perubahan-perubahan fisik dari zat-zat tersebut, dan akan menurunkan stabilitas dari bahan, dimana zat-zat organik tersebut terdapat. Karena bahan-bahan yang terpilih untuk tubuh bendungan supaya bebas dari campuran-campuran zat-zat organik, atau kandungan zat-zat organik pada bahan tersebut tidak diperkenankan melebihi 5%.



Gambar 2.10. Bahan untuk tubuh bendungan berdasarkan U.S.B.R.  
Sumber : Sosrodarsono dan Takeda (1981:70)

### 2.6.2 Zona Filter dan Zona Transisi

Zona timbunan tanah dan zona timbunan batu pada tubuh suatu bendungan, biasanya dipisahkan dengan suatu zona peralihan. Zona yang tipis biasanya disebut lapisan filter, sedangkan yang tebal biasanya disebut zona transisi. Bahan-bahan pasir dan krikil yang akan dipergunakan untuk lapisan filter atau zone transisi supaya mempunyai kekuatan geser dan kemampuan kelulusan yang memadai. Koefisien kelulusan air ( $k$ ) bahan filter pelindung harus bekisar antara (20 – 100) kali koefisien kelulusan air dari material yang dilindungi.

Menurut Prawoto (2004:2) dalam RSNI T-10-2004, fungsi urugan filter pelindung pada bendungan urugan adalah sebagai berikut :

1. Sebagai sarana untuk mengarahkan dan mengendalikan aliran rembesan ke luar dari dalam urugan tanah melalui media berpori.
2. Untuk mencegah terjadinya erosi buluh di antara zona-zona urugan dan fondasi bendungan urugan.
3. Untuk mengendalikan tingkat kejenuhan air dan tekanan rembesan pada urugan tanah ataupun inti kedap air, agar berada pada tingkat aman bagi bendungan urugan itu.

Filter yang digunakan untuk mengontrol rembesan harus memenuhi dua syarat, yaitu :

1. Ukuran pori harus cukup kecil untuk mencegah adanya partikel-partikel yang terbawa.
2. Permeabilitasnya harus cukup tinggi agar aliran air dapat melewati filter dengan cepat.

Menurut Craig (1989:63) kriteria persyaratan bahan filter sebagai berikut :

$$\frac{(D_{15})_f}{(D_{85})_s} < 5 \quad (2 - 5)$$

$$\frac{(D_{15})_f}{(D_{15})_s} > 5 \quad (2 - 6)$$

$$\frac{(D_{50})_f}{(D_{50})_s} < 25 \quad (2 - 7)$$

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Najooan dan Carlina (2002:27) dalam RSNI T-01-2002, tebal filter biasanya disesuaikan dengan kemudahan dalam pelaksanaan (*workability*) dan gempa bumi. Tebal filter horizontal minimum 2,00 m sampai 3,00 m dan tebal minimum filter miring adalah 2,00 m dekat puncak bendungan. Zona transisi biasanya dipasang antara zona kedap air dan zona lulus air. Zona ini berfungsi untuk

mencegah terjadinya perubahan gradasi yang besar dan mencegah pengaruh deformasi berlebih antara zona kedap air dan zona lulus air. Bahan zona transisi dapat berupa pasir dicampur kerikil, batuan lapuk, atau batu pecah disebelah luar yang lebih kasar dari bahan kedap air antara lain bahan rombakan (*talus*) atau batuan terlapuk berat.

### 2.6.3 Zona Lulus Air

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Najooan dan Carlina (2002:27) pada RSNI T-01-2002, zona lulus air berfungsi memikul beban air dan menstabilkan lereng hulu dan hilir terhadap pengaruh gaya-gaya luar. Bahan urugan yang digunakan harus mempunyai kekuatan geser yang tinggi. Bahan harus sangat lulus air agar dapat terjadi aliran air bebas akibat air hujan dan air tersisa waktu terjadi surut cepat di lereng hulu. Material terbaik untuk zona lulus air adalah batuan keras ukuran bongkah, kerakal, kerikil, dan kadar butiran harus sekecil mungkin. Bagian yang terpasang pada udik harus mempunyai ketahanan tinggi terhadap gelombang air.

Berikut dibawah ini merupakan kriteria zona lulus air :

- Ukuran diameter batu-batu antara 45 sampai dengan 60 cm dengan berat antara 250 sampai dengan 500 kg atau lebih dan bentuk batu tidak pipih.
- Batu-batu yang berdiameter kurang dari 10 cm yang terdapat dalam timunan tubuh bendungan tidak diperkenankan melebihi 5% komposisinya.
- Bahan batu tidak mudah pecah, baik dalam pengangkutan maupun pada saat penuangan dari alat-alat pengangkut (*dumping*).
- Berat jenisnya tidak kurang dari 2,5.
- Kekuatan tekan untuk bendungan rendah 200 – 280 kg/cm<sup>2</sup>, 280 – 350 kg/cm<sup>2</sup> untuk bendungan sedang dan 350 – 450 kg/cm<sup>2</sup> untuk bendungan tinggi.
- Koefisien permeabilitas batu ideal harus lebih besar atau sama dengan 10<sup>-3</sup> cm/det.
- Sifat durabilitas (tahan lekang) terhadap air dan perubahan cuaca dilakukan dengan uji tahan lekang dengan menggunakan sodium sulfat dengan nilai perubahan berat kurang dari 15% dianggap baik.

Kestabilan karakteristik material batu, merupakan faktor yang mutlak diperlukan, bahan ini harus mampu bertahan sepanjang umur exploitasi yang direncanakan untuk bendungan.

Jenis bahan batuan yang umumnya memenuhi syarat untuk dipergunakan untuk penimbunan tubuh bendungan dapat di klasifikasikan seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Bahan batuan untuk timbunan bendungan

Batuan yang dianggap sangat baik untuk bendungan urugan	Batuan yang dalam penggunaannya perlu penelitian yang seksama
Granit, Andesit, Riolit	Shale, Slate
Basalt	Tuff
Batuan pasir berumur sebelum Mesozoikum	Batuan pasir berumur Neozoikum
Batuan kapur	Gneiss, schist
Batuan silikat	

Sumber : Sosrodarsono dan Takeda (1981:134)

#### 2.6.4 Pelindung Lereng Bendungan

Menurut Najooan dan Carlina (2002:25) pada RSNI T-01-2002, hempasan ombak, dan penurunan mendadak permukaan air waduk dapat menggerus permukaan lereng hulu bendungan. Guna pengamanannya diperlukan suatu hamparan pelindung konstruksi yang bervariasi diantaranya hamparan batu pelindung (*rip rap*), hamparan batu kosong pelindung dan hamparan aspal/beton pelindung. Hamparan batu pelindung (*rip rap*) dianggap merupakan yang paling baik dengan karakteristiknya karena sebagai berikut :

- Dapat mengikuti proses penurunan bendungan.
- Mempunyai daya reduksi besar terhadap jangkauan hempasan ombak, sehingga tinggi jagaan dapat dikurangi.
- Ketahanan tinggi di bawah tekanan air.
- Pembiayaan paling rendah, terutama bila tempat pengalihan bahan batu tidak jauh letaknya.

#### 2.6.5 Material lainnya

Selain material yang berkualitas baik seperti yang dijelaskan diatas, untuk penimbunan tubuh bendungan kadang-kadang digunakan material yang kualitasnya lebih rendah, antara lain :

- Material batu yang dihasilkan dari batuan lunak yang mudah lapuk.
- Lebih dari dua jenis bahan tanah, pasir atau kerikil yang tidak mungkin dapat diambil secara terpisah.
- Material hasil galian dari pondasi zone kedap air atau pondasi bangunan pelengkap bendungan.
- Bahan hasil galian dari pembuatan jalan masuk lokasi proyek.

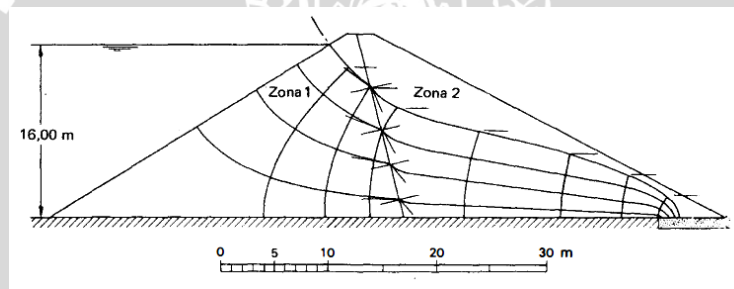


- Bahan yang penyebarannya cukup luas, tetapi tidak mempunyai karakteristik yang seragam.

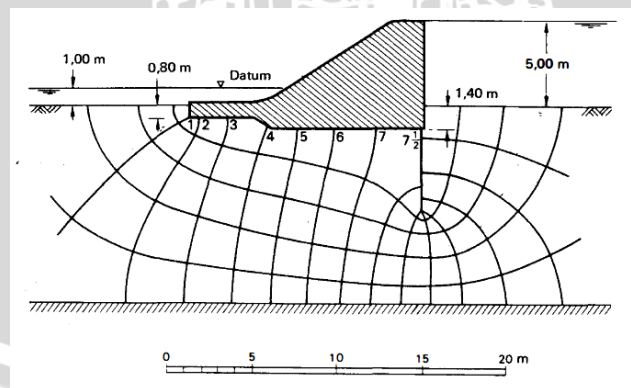
Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1981:134) material yang seperti diatas pada pembangunan bendungan urugan biasanya dipergunakan untuk penimbunan zona sembarang (*random zone*). Zona sembarang ini bersama dengan zone lain dari tubuh bendungan bekerja untuk mempertahankan kesetabilan tubuh bendungan tersebut.

## 2.7 Analisa Rembesan Bendungan

Dalam merencanakan sebuah bendungan perlu diperhatikan stabilitasnya terhadap bahaya longsor, erosi lereng, dan kehilangan air akibat rembesan yang melalui tubuh bendungan. baik tubuh bendungan maupun pondasinya diharuskan mampu mempertahankan diri terhadap gaya-gaya yang ditimbulkan oleh adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah-celah antara butiran-butiran tanah pembentuk tubuh bendungan dan pondasi tersebut.



Gambar 2.11. Rembesan pada tubuh bendungan tidak homogen  
Sumber : Craig (1989:66)



Gambar 2.12. Rembesan pada pondasi bendungan  
Sumber : Craig (1989:50)

Untuk memperkirakan besarnya kapasitas filtrasi suatu bendungan baik yang melalui tubuh bendungan maupun yang melalui lapisan pondasi, dapat dilakukan dengan menggunakan jaringan trayektori aliran filtrasi atau dengan menggunakan rumus empiris. Apabila bahan pembentuk tubuh dan pondasi bendungan mempunyai harga  $k_x$  dan  $k_z$  yang

berbeda, maka untuk menghitung kapasitas aliran filtrasi dilakukan dengan harga  $k$  yang telah dimodifisir ( $k'$ ).

Untuk mengetahui nilai  $k_x$  dan  $k_z$  menurut Craig (1989:55) dengan persamaan :

$$k' = \sqrt{k_x \cdot k_z} \quad (2 - 8)$$

$$k_x = \frac{H_1 k_1 + H_2 k_2}{H_1 + H_2} \quad (2 - 9)$$

$$k_z = \frac{H_1 + H_2}{\left(\frac{H_1}{k_1} + \frac{H_2}{k_2}\right)} \quad (2 - 10)$$

dimana :

$k'$  = koefisien filtrasi yang dimodifisir

$k_x$  = koefisien filtrasi horizontal

$k_z$  = koefisien filtrasi vertikal

$H_1$  = tebal lapisan 1

$H_2$  = tebal lapisan 2

$k_1$  = koefisien permeabilitas lapisan 1

$k_2$  = koefisien permeabilitas lapisan 2

Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1981:165) untuk memperkirakan besarnya kapasitas filtrasi yang mengalir melalui tubuh dan pondasi bendungan yang didasarkan pada jaringan trayektori aliran filtrasi, dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{N_f}{N_d} \cdot k \cdot H \cdot L \quad (2 - 11)$$

Dimana :

$Q$  = kapasitas rembesan total ( $m^3/dt$ )

$N_f$  = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi

$N_d$  = angka pembagi dari garis equipotensial

$k$  = koefisien filtrasi ( $m/dt$ )

$H$  = tinggi muka air (m)

$L$  = panjang profil memanjang bendungan (m)

Kapasitas aliran filtrasi adalah kapasitas rembesan air yang mengalir ke hilir melalui tubuh bendungan dan pondasi bendungan. kapasitas aliran filtrasi suatu bendungan mempunyai batas-batas tertentu yang mana apabila kapasitas aliran filtrasi tersebut terlampaui, maka kehilangan air yang terjadi akan cukup besar dan dapat mengakibatkan gejala sufosi (*piping*) dan sembulan (*boiling*).

Menurut Hardiyatmo (2012:220) melalui penelitian Harza (1935) memberikan faktor keamanan bangunan air terhadap bahaya *piping*, sebagai berikut :

$$SF = \frac{i_c}{i_e} \quad (2 - 12)$$

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (2 - 13)$$

$$i_e = \frac{\Delta h}{\ell} \quad (2 - 14)$$

$$\Delta h = \frac{h}{N_d} \quad (2 - 15)$$

Dimana :

SF = angka aman (4)

$i_c$  = gradien hidrolik kritis

$G_s$  = Berat spesifik (*Specific gravity*)

$e$  = angka pori

$\gamma_w$  = berat volume air ( $t/m^3$ )

$i_e$  = gradien keluar maksimum (*maximum exit gradient*)

$\Delta h$  = kehilangan tinggi energi antara dua garis ekipotensial terakhir

$h$  = perbedaan tinggi energi antara garis ekipotensial pertama dan terakhir

$N_d$  = angka pembagi dari garis equipotensial

$\ell$  = panjang dari elemen aliran

Erosi buluh (*piping*) terjadi bila air waduk mengalir atau merembes melalui pori-pori tanah timbunan atau pondasi, sehingga menghasilkan suatu gaya tarik yang cukup kuat mambawa butiran tanah keluar melalui titik keluaran. Penggerusan atau erosi tersebut berlangsung terus dan membentuk goa di dalam timbunan atau pondasi, sehingga dapat mengakibatkan fondasi bangunan mengalami penurunan dan mengganggu stabilisasi bangunan.

## 2.8 Penurunan (*Settlement*) pada Zona Inti Tubuh Bendungan

Penimbunan ekstra diperlukan sehubungan dengan terjadinya gejala konsolidasi pada tubuh dan pondasi bendungan, karena prosesnya berjalan lama sesudah pembangunan bendungan tersebut. Penimbunan ekstra melebihi tinggi dan volume rencana dengan perhitungan dilakukan agar ketika proses konsolidasinya berakhir, maka penurunan tinggi dan penyusutan volume akan mendekati tinggi dan volume rencana bendungan.

1. Proses konsolidasi pada tubuh bendungan

- Besarnya penurunan (*settlement*) tubuh bendungan ( $\Delta H$ ) segera sesudah bendungan selesai dibangun dapat di hitung dengan rumus :

$$\Delta H = \frac{1}{2E} \times \gamma \times H^2 \times T \quad (2 - 16)$$

$$E = \frac{1}{m_v} \quad (2 - 17)$$

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w m_v} \quad (2 - 18)$$

Dimana :

$\Delta H$  = penurunan tubuh bendungan (m)

$\gamma$  = berat jenis bahan tubuh bendungan ( $\text{ton/m}^3$ )

$H$  = tinggi bendungan (m)

$T$  = koefisien penurunan (antara 0,3 – 0,5, yang didasarkan pada type bendungan dan kecepatan pelaksanaan penimbunannya)

$k$  = koefisien permeabilitas tanah (cm/det)

- Persentase *settlement* yang terjadi adalah sebesar :

$$P (\%) = \frac{\Delta H}{H} \quad (2 - 19)$$

- Waktu yang diperlukan untuk konsolidasi 90% adalah sebagai berikut :

$$t_{90} = \frac{T_{90} \cdot H^2}{C_v} \quad (2 - 20)$$

$t_{90}$  = waktu penurunan 90% (tahun)

$T_{90}$  = faktor waktu 90% (0,848)

$H$  = tinggi bendungan (cm)

$C_v$  = koefisien konsolidasi ( $\text{cm}^2/\text{det}$ )

## 2.9 Angka Keamanan

Menurut Hardiyatmo (2003:330) faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan.

$$F = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2 - 21)$$

Dimana :

$F$  = angka keamanan terhadap kekuatan tanah

$\tau_f$  = kekuatan geser rata-rata tanah

$\tau_d$  = tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor

Menurut teori Mohr-Coulomb, kekuatan geser ( $\tau_f$ ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, disepanjang bidang longsornya. Dimana nilai  $c$  dan  $\phi$  adalah parameter kuat geser tanah, dinyatakan oleh :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2 - 22)$$

Dimana :

$\tau_f$  = kekuatan geser rata-rata tanah

$c$  = kohesi

$\sigma$  = tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor

$\Phi$  = sudut geser tanah

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi ( $\tau_d$ ) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsornya :

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \phi_d \quad (2 - 23)$$

Dimana kohesi ( $c_d$ ) dan sudut geser ( $\Phi_d$ ) yang bekerja sepanjang bidang longsornya.

Apabila  $F_s = 1$ , maka lereng tersebut adalah dalam keadaan akan longsor. Pada umumnya faktor aman stabilitas lereng diambil lebih besar atau sama dengan 1,2. (Hardiyatmo, 2003 : 331)

## 2.10 Stabilitas Lereng Bendungan Urugan

Kegagalan konstruksi akibat jebolnya suatu bendungan urugan, biasanya dimulai dengan terjadinya suatu gejala longsor baik pada lereng hulu, maupun pada lereng hilir bendungan tersebut, yang disebabkan kurang memadainya stabilitas kedua lereng tersebut. Oleh karena itu, dalam pembangunan suatu bendungan urugan, stabilitas lereng-lerengnya merupakan kunci dari stabilitas tubuh bendungan secara keseluruhan.

Dalam merencanakan suatu bendungan, perlu mempertimbangkan faktor-faktor yang diperkirakan berpengaruh terhadap stabilitas lereng bendungan, seperti dimensi bendungan dan dalam perhitungannya supaya diambil suatu kombinasi pembebanan yang paling tidak menguntungkan. biasanya konstruksi tubuh bendungan urugan direncanakan pada tingkat stabilitas dengan faktor keamanan 1,2 atau lebih, sebagai syarat untuk dapat diizinkan pembangunannya.

Beberapa kondisi yang dianggap paling tidak menguntungkan pada stabilitas tubuh bendungan urugan :

1. Kondisi ketika bendungan selesai dibangun, keadaan waduk kosong.
2. Aliran filtrasi dalam tubuh bendungan ketika waduk dalam keadaan banjir (*Flood Water Level*).

3. Aliran filtrasi dalam tubuh bendungan ketika waduk dalam keadaan penuh (*High Water Level*).
4. Aliran filtrasi dalam tubuh bendungan ketika waduk dalam keadaan elevasi muka air terendah (*Low Water Level*).
5. Penurunan muka air mendadak dari elevasi HWL (*High water level*) ke elevasi LWL (*Low Water Level*).
6. Poin (1,2,3,4,5) ditambah dengan beban gempa.

Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1981:141) agar dalam perhitungan stabilitas bendungan dengan sistem coba-coba dari beberapa alternatif susunan tubuh bendungan dan kombinasi-kombinasi pembebanan sesuai dengan kondisi tersebut diatas, sehingga dapat dicapai stabilitas tubuh bendungan dengan faktor keamanan,  $F \geq 1,2$ .

Tabel 2.3. Persyaratan faktor keamanan minimum untuk stabilitas bendungan tipe urugan

No	Kondisi	Kuat Geser	Tekanan Air Pori	FK Tanpa Gempa	FK Dengan Gempa *
1.	<b>Selesai konstruksi tergantung :</b> 1. Jadwal konstruksi. 2. Hubungan antara tekanan air pori dan waktu. Lereng U/S dan D/S.  Dengan gempa tanpa kerusakan digunakan 50 % koef. gempa desain.	1. Efektif	Peningkatan tekanan air pori pada urugan dan fondasi dihitung menggunakan data lab. dan pengawasan instrumen.	1,30	1,20
			Idem hanya tanpa pengawasan instrumen.	1,40	1,20
			Hanya pada urugan tanpa data lab. dan dengan/tanpa pengawasan instrumen.	1,30	1,20
		2. Total	Tanpa pengawasan instrumen.	1,30	1,20
2.	<b>Aliran langgeng tergantung:</b> 1. Elevasi muka air normal sebelah udik. 2. Elevasi muka air sebelah hilir. Lereng U/S dan D/S. Dengan gempa tanpa kerusakan digunakan 100 % koef. gempa desain.	1. Efektif	Dari analisis rembesan	1,50	1,20
3.	<b>Pengoperasian waduk Tergantung :</b> 1. Elev. Muka air maksimum di udik 2. Elev. Muka air minimum di udik (dead storage). Lereng U/S harus dianalisis untuk kondisi surut cepat	1. Efektif	Surut cepat dari El. muka air normal sampai El. muka air minimum. Lereng U/S dan D/S.	1,30	1,10
			Surut cepat dari El. MA maksimum sampai El. MA minimum. Pengaruh gempa diambil 0 % dari koef. gempa desain.	1,30	-
4.	<b>Kondisi darurat tergantung :</b> 1. Pembantuan pada sistem drainase 2. Surut cepat karena penggunaan air melebihi kebutuhan. 3. Surut cepat keperluan darurat.	1. Efektif	Surut cepat dari El. MA maksimum sampai EL. terendah bangunan pengeluaran. Pengaruh gempa diabaikan.	1,20	-

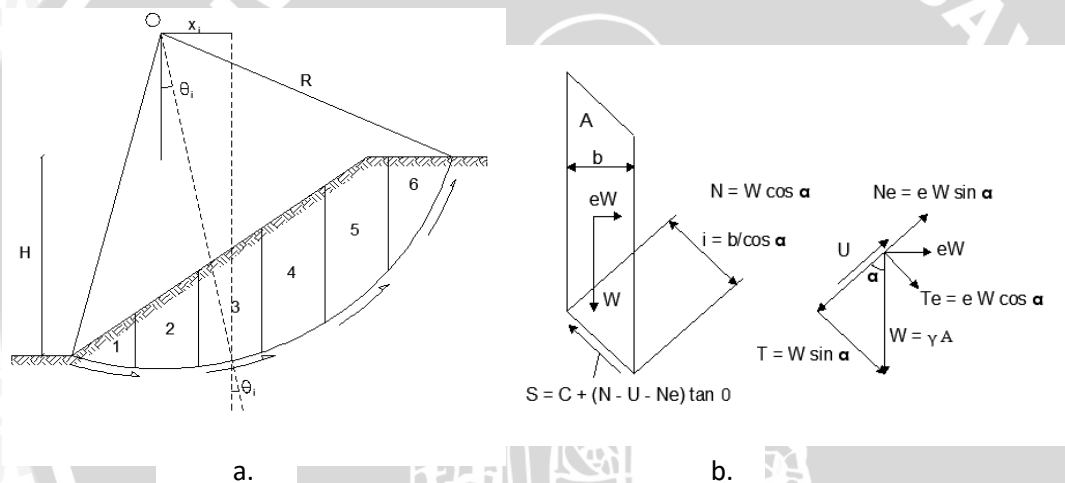
\* Catatan: periksa standar tentang Metode Analisis stabilitas lereng dinamik bendungan tipe urugan.

Sumber : Najoan dan Carlina Soetjiono, RSNI M-03-2002:5

Berdasarkan pengamatan longsoran lereng oleh Collin (1846) menunjukkan bahwa kebanyakan peristiwa longsoran tanah terjadi dengan bentuk bidang longsor yang berupa lengkungan. Keruntuhan lereng dari tanah jenis tanah kohesif banyak terjadi karena

bertambahnya kadar air tanah. Sebab terjadinya longsor adalah karena tidak tersedianya kuat geser tanah yang cukup untuk menahan gerakan tanah longsor ke bawah, pada bidang longsonya.

Menurut Hardiyatmo (2003:359) metode irisan (*method of slice*) biasanya digunakan dalam perhitungan stabilitas tubuh bendungan urugan, hal ini dikarenakan bahan timbunan tubuh bendungan tidak homogen dan aliran rembesan terjadi di dalam tanah tidak menentu. Apabila lereng hulu dan hilir bendungan urugan ditutup oleh lapisan bahan-bahan yang tidak bersifat kohesif (batu, krikil atau pasir), maka dilakukan perhitungan dengan bidang lurus bundar berradius besar. Gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah di atas titik tersebut. Dalam metode irisan, massa tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal. Kemudian, keseimbangan dari tiap-tiap irisan diperhatikan.



Gambar 2.13 a. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan b. Cara menentukan besarnya harga-harga  $N$  dan  $T$

Sumber : a. Hardiyatmo (2003:360), b. Sosrodarsono dan Takeda (1981:142)

Analisis stabilitas lereng dengan metode ini menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan dan kiri irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, maka keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan pori.

Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1981:141) Faktor keamanan dari kemungkinan terjadinya longsor dapat diperoleh dengan menggunakan rumus keseimbangan sebagai berikut :

Untuk faktor keamanan pada kondisi normal (tanpa beban gempa)

$$F = \frac{\sum C l + (N - U) \tan \Phi}{\sum T} \quad (2 - 24)$$

Untuk faktor keamanan pada kondisi gempa (dengan beban gempa)

$$F = \frac{\sum C l + (N - U - N_e) \tan \Phi}{\sum (T + T_e)} \quad (2 - 25)$$

Dimana :

- F = faktor aman
- C = kohesi bahan timbunan ( $\text{kN/m}^2$ )
- $\Phi$  = sudut gesek dalam bahan timbunan ( $^\circ$ )
- U = beban dari tekanan hidrostatik yang bekerja pada irisan ( $= u \cdot l$ )
- l = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-i ( $= b/\cos \alpha$ )
- b = panjang dasar irisan
- u = tekanan air rata-rata
- l = panjang lengkung lingkaran
- N = beban komponen vertikal yang timbul dari berat setiap irisan bidang lurus ( $= W \cos \alpha$ )
- T = beban komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan bidang lurus ( $= W \sin \alpha$ )
- W = berat irisan ( $= A \cdot \gamma$ )
- $N_e$  = komponen vertikal beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidang lurus ( $= e \cdot W \sin \alpha$ )
- $T_e$  = komponen tangensial beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidang lurus ( $= e \cdot W \cos \alpha$ )
- e/k = koefisien gempa/seismis
- $\gamma$  = berat isi bahan
- A = luas dari setiap bahan pembentuk irisan
- $\alpha$  = sudut kemiringan dasar setiap irisan ( $^\circ$ )

## 2.11 Beban Gempa

Indonesia berada pada zona tektonik yang sangat aktif, dimana gempa-gempa besar sering terjadi dan telah menyebabkan hilangnya ribuan jiwa akibat tertimpa reruntuhan infrastruktur dan bangunan. Pencegahan kerusakan akibat gerakan tanah dapat dilakukan melalui proses perencanaan dan konstruksi yang baik dan dengan memperhitungkan suatu tingkat beban gempa rencana.



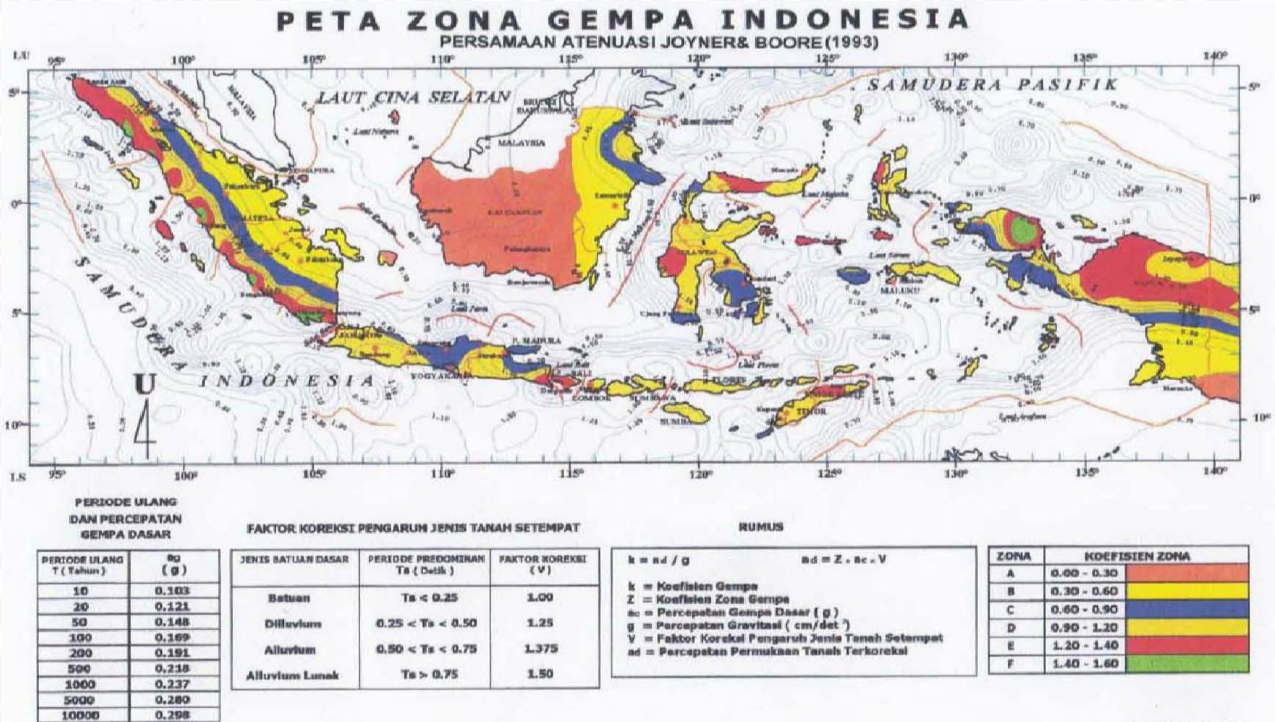
Desain suatu bendungan tipe urugan harus mempertimbangkan faktor keamanan terhadap pengaruh kestabilan bendungan, dengan menggunakan peta zona gempa Indonesia.

Menurut Najoo dan Carlina (2004:14) dalam pedoman T-14-2004-A, berbagai macam ketidakstabilan bendungan urugan yang dilanda goncangan gempa meliputi tiga tipe, yaitu :

1. Ketidakstabilan akibat penurunan kekuatan geser material urugan atau material fondasi yang disebabkan oleh peningkatan tekanan air pori sehingga mengakibatkan terjadinya proses likuifaksi.
2. Ketidakstabilan akibat deformasi yang berlebihan berupa longsor lereng dan retakan pada bendungan yang disebabkan oleh peningkatan tegangan geser akibat beban gempa.
3. Ketidakstabilan akibat gelombang tinggi karena gempa yang dapat menyebabkan terjadinya pelimpahan yang melewati tubuh bendungan.

Untuk mengetahui tingkat kestabilan bendungan terhadap gempa, dilakukan dengan menghitung koefisien gempa dan gaya-gaya vibrasi yang bekerja dengan arah yang berubah-ubah yang diganti dengan satu gaya statik mendatar. Untuk tinggi bendungan ( $H$ )  $> 15$  m, sesuai dengan Pedoman T-14-2004-A dilakukan analisis dengan metode koefisien gempa termodifikasi, karena bendungan tipe urugan bersifat lebih fleksibel sehingga percepatan gempa makin membesar di puncak bendungan.

Pencegahan kerusakan akibat gerakan tanah dilakukan melalui proses perencanaan dan konstruksi yang baik dan dengan memperhitungkan suatu tingkat beban gempa rencana. Sebagai bagian dari standar infrastruktur yang sedang disusun, Peta Gempa Indonesia 2010 diperlukan sebagai acuan dasar perencanaan dan perancangan infrastruktur untuk mendapatkan faktor gempa yang dibutuhkan dalam perencanaan. Penggunaan peta gempa Indonesia terbaru dimaksudkan sebagai upaya mengurangi korban jiwa dan kerugian akibat gempa.



NAJOAN 2004

Gambar 2.14. Peta Zona Gempa Indonesia 2004

Sumber : Puslitbang Sumber Daya Air

Analisa gempa untuk desain bendungan dan bangunan pengairan tahan gempa dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

❖ Cara koefisien gempa

Cara ini dilakukan dengan menghitung koefisien gempa dan gaya-gaya vibrasi yang bekerja dengan arah yang berubah-ubah yang diganti dengan satu gaya statik mendatar. Dalam metode analisis ini, percepatan gempa dari dasar sampai dengan puncak bendungan dianggap sama.

$$a_d = Z \cdot a_c \cdot v \quad (2 - 26)$$

Dimana :

$a_d$  = percepatan gempa maksimum yang terkoreksi di permukaan tanah (gal)

$a_c$  = percepatan gempa dasar (Tabel 2.4)

$Z$  = koefisien zona gempa (Gambar 2.14)

$v$  = koreksi pengaruh jenis tanah setempat (Tabel 2.5)

Tabel 2.4. Percepatan gempa dasar untuk berbagai periode ulang

T (Tahun)	ac (gal)
10	90
20	120
50	160
100	190
200	220
500	250
1000	280
5000	330
10000	350

Sumber : Najoan dan Carlina Soetjiono, Pd T-14-2004-A : 25

Tabel 2.5. Faktor koreksi pengaruh jenis tanah setempat

Kelompok	Jenis Tanah	Periode predomnan Ts (detik)	Koreksi (v)
1.	Batuan a) Perlapisan terbentuk sebelum periode kuarter disebut batuan b) Lapisan diluvial di atas lapisan batuan dengan tebal kurang dari 10 m	Ts 0,25	0,8
2.	Diluvium a) Lapisan diluvial di atas lapisan batuan dengan tebal lebih dari 10 m b) Lapisan aluvial di atas lapisan batuan dengan tebal kurang dari 10 m	0,25 0,50	1
3.	Aluvium a) Lapisan aluvial di atas lapisan batuan dengan tebal kurang dari 25 m b) Lapisan aluvial di atas lapisan batuan dengan tebal kurang dari 25 m dan lapisan aluvial lunak kurang dari 5 m	0,50 0,75	1,1
4.	Aluvium lunak a) Lapisan tanah pasiran jenuh air dengan tebal kurang dari 10 m dari permukaan dengan Nspt 10pkl/30 cm penetrasi b) Lapisan tanah kohesif atau lanauan lunak ditemukan mulai pada kedalaman 3 m dari permukaan dengan nilai 0,25 kg/cm dari uji lapangan.	0,75	1,2

Catatan :

1. Yang termasuk dalam lapisan diluvial adalah lapisan pasir padat, kerikil pasiran, kerikil bongkahan, dan lempung keras.
2. Yang termasuk dalam lapisan aluvial adalah lapisan endapan baru seperti endapan sungai dan longsor.

Sumber : Najoan dan Carlina Soetjiono, Pd T-14-2004-A : 25

$$K_h = \frac{a_d}{g} \quad (2 - 27)$$

$$K = K_h \cdot \alpha_1 \quad (2 - 28)$$

Dimana :

K = koefisien gempa terkoreksi untuk analisis stabilitas

$K_h$  = koefisien gempa dasar yang tergantung pada periode ulang T

$a_d$  = percepatan gempa maksimum yang terkoreksi di permukaan tanah (gal)

g = gravitasi (980 cm/dt<sup>2</sup>)

$\alpha_1$  = koreksi pengaruh daerah bebas (*freefield*) untuk bendungan tipe urugan (0,70)

❖ Cara koefisien gempa termodifikasi

Cara ini berdasarkan pada bendungan tipe urugan bersifat fleksibel sehingga percepatan gempa semakin membesar di puncak. Sesuai dengan “*Seismic Design Guideline for Fill Dam*”, koefisien gempa desain pada tubuh bendungan yang merupakan fungsi dari kedalaman, dapat dihitung dengan persamaan :

$$K_0 = K_h \cdot \alpha_2 \quad (2 - 29)$$

Dimana :

$K_0$  = koefisien gempa desain terkoreksi di permukaan tanah

$\alpha_2$  = koreksi pengaruh jenis struktur, untuk bendungan tipe urugan = 0,50

$K_h$  = koefisien gempa dasar yang tergantung pada periode ulang T

Dalam analisis stabilitas ini koefisien gempa pada kedalaman y dari puncak bendungan berbeda-beda. Untuk analisis stabilitas, peninjauan dilakukan pada y = 0,25H ; 0,50H ; 0,75H dan H (H adalah tinggi bendungan) dengan menggunakan  $K_h$  pada periode ulang sesuai dengan yang dipersyaratkan. Koefisien gempa rata-rata K pada Y yang berbeda-beda dapat dihitung dengan persamaan adalah sebagai berikut :

Untuk  $0 < y/H \leq 0,40$

$$K = K_o \cdot (2,5 - 1,85 \cdot (y/H)) \quad (2 - 30)$$

Untuk  $0,40 < y/H \leq 1,00$

$$K = K_o \cdot (2,0 - 0,60 \cdot (y/H)) \quad (2 - 31)$$

Analisis stabilitas dilakukan dengan metode keseimbangan batas dengan menggunakan koefisien gempa K yang keluarannya berupa faktor keamanan.

Najoan dan Carlina Soetjiono, Pd T-14-2004-A : 50

