

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang masalah

Bendungan adalah sebuah bangunan yang dibangun melintang sungai guna membuat tampungan air. Pembangunan suatu bendungan pada dasarnya sebagai tempat pengendalian banjir dan konservasi. Konservasi air tersebut memiliki garis besar yang mengarah kepada kemampuan suatu bendungan untuk menyimpan kelebihan air dimana surplus tersebut digunakan pada saat ketersediaan air berkurang di musim kemarau. Adapun konservasi tersebut berguna untuk irigasi, pembangkit listrik, kepentingan perindustrian, dan rekreasi. Bendungan dapat diklasifikasikan menjadi 3 tipe dengan melihat material konstruksi yang digunakan untuk membangun tubuh bendungan tersebut, yaitu bendungan urugan, bendungan beton dan bendungan lainnya.

Bendungan urugan adalah suatu bendungan yang dibangun dengan cara menimbunkan bahan-bahan seperti : batu, krikil, pasir dan tanah pada komposisi tertentu. Apabila material yang digunakan mayoritas adalah batu, maka bendungan tersebut digolongkan bendungan urugan batu. Jika mayoritas material yang digunakan adalah tanah, disebut bendungan urugan tanah. Sedangkan bendungan beton adalah suatu bendungan yang dibuat dengan konstruksi beton baik dengan tulangan maupun tidak. Bendungan beton seringkali diaplikasikan di negara-negara maju. Pengaplikasian tersebut dipengaruhi oleh faktor ekonomi yang menyebutkan bahwa untuk membangun sebuah bangunan penampung air harus seefektif mungkin, dimana panjang dari sebuah bendungan yang melintang sungai harus sependek mungkin selama hal tersebut memungkinkan. Untuk tinggi bendungan bisa dibuat lebih tinggi agar suatu bendungan mampu menyimpan air dalam volume yang besar. Apabila bendungan tersebut juga difungsikan sebagai pembangkit listrik tenaga air, tinggi bendungan yang memadai akan menghasilkan daya listrik yang besar.

Pada bendungan beton, kualitas struktur sangat erat kaitannya dengan agregat penyusun campuran beton itu sendiri. Dengan kata lain dapat disimpulkan apabila semen dan agregat-agregat yang ada diuji secara terpisah dan didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa semen dan agregat-agregat tersebut memiliki kualitas yang baik, maka dapat dipastikan struktur yang ada memiliki kualitas yang sama baiknya dengan

materi penyusunnya. Pengujian yang teliti dan menyeluruh dari materi penyusun suatu beton sangatlah penting, terlebih pada perencanaan suatu bendungan. Selain untuk mendapatkan beton dengan mutu yang telah direncanakan, juga untuk mengefisienkan anggaran biaya pada pembuatan beton. Efisiensi pada perencanaan suatu bendungan beton sangatlah diperlukan untuk meminimalisir anggaran biaya. Untuk meminimalkan anggaran biaya bisa dilakukan dengan mengadakan pengujian materi penyusun beton yang teliti, dan perencanaan yang efektif.

Dan yang terakhir bendungan lainnya, biasa hanya untuk digunakan sebagai bendungan kecil misalnya: bendungan kayu (*timber dams*), bendungan besi (*steel dams*), bendungan pasangan bata (*brick dams*), dan bendungan pasangan batu (*masonry dams*).

Studi perencanaan pada bendungan beton sederhana dengan kemiringan lereng hulu dan hilir yang menjadi pokok bahasan kali ini dititikberatkan pada pemilihan dimensi yang efisien, dimana dimensi bendungan tersebut harus memenuhi stabilitas yang disyaratkan. Oleh karena itu, pemilihan dimensi pada bendungan yang dicari dengan menggunakan konsep perhitungan dari rumusan angka keamanan (*safety factor*), baik itu terhadap guling maupun geser dimana akan dihitung dalam kondisi normal dan gempa sangat menentukan stabilitas bendungan. Dalam hal yang akan dikaji nantinya, akan memiliki beberapa pengembangan yang berbeda dari penelitian sebelumnya, dimana akan dikembangkan dengan bentuk bendungan beton sederhana yang berbeda yakni terdapat kemiringan lereng di bagian hulu dan hilir.

## 1.2 Identifikasi masalah

Perencanaan bendungan beton memerlukan pertimbangan dari banyak faktor. Apalagi dalam hal perencanaan bendungan beton kali ini, bentuk bendungan beton sederhana yang terdapat kemiringan lereng di bagian hulu dan hilirnya. Faktor utama adalah keamanan bangunan, dimana akan memberikan nilai keamanan terhadap keruntuhan pada struktur bendungan beton. Dalam hal ini, pemilihan dimensi pada bendungan baik itu terhadap guling maupun geser sangat menentukan stabilitas bendungan tersebut, dimana nantinya harus memenuhi stabilitas yang disyaratkan guna mencapai faktor utama yaitu keamanan bangunan. Selain itu faktor kemiringan lereng hulu dan hilir secara tidak langsung juga berpengaruh terhadap stabilitas bendungan.



### 1.3 Rumusan masalah

Berdasarkan penjelasan diatas, maka ada beberapa rumusan masalah yang menjadi pokok pembahasan dari materi ini antara lain :

1. Berapa kemiringan lereng pada bagian hulu dan hilir bendungan yang efektif terhadap geser dan guling untuk profil dasar pada bendungan beton ?
2. Berapa kemiringan lereng pada bagian hulu dan hilir yang efektif untuk bendungan beton dengan penambahan *free board* pada bagian atas sebuah bendungan terhadap geser dan guling?
3. Apakah studi kasus ini nantinya bisa diaplikasikan dalam meninjau stabilitas konstruksi terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah?

### 1.4 Batasan masalah

Pembahasan dalam studi ini menitikberatkan pada pemodifikasian dimensi suatu bendungan. Untuk itu, pembatasan masalah yang dipakai sebagai berikut :

1. Tidak membahas analisis hidrologi.
2. Tidak membahas penulangan beton.
3. Gempa yang diasumsikan adalah gempa statis.
4. Tekanan akibat sedimen di bagian hulu bendungan diabaikan.
5. Tidak membahas bentuk bendungan lengkung maupun *arc dam*.
6. Dalam hal ini, bendungan diasumsikan sebagai kolom yang menggunakan tumpuan jepit pada bagian dasarnya.
7. Tidak membahas analisis ekonomi pertanian secara khusus dan analisis ekonomi bangunan bendungan.

### 1.5 Tujuan dan manfaat

Tujuan dari pembahasan studi ini adalah untuk memperoleh desain kemiringan lereng pada bagian hulu bendungan beton yang paling efisien. Sehingga pemenuhan kebutuhan akan suatu perencanaan dengan menggunakan biaya yang minimal dan kestabilan suatu bendungan dapat terpenuhi.

Manfaat yang ingin dicapai dalam studi ini adalah agar dapat menjadi bahan pertimbangan kepada praktisi maupun instansi-intansi terkait sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Bendungan Beton

##### 2.1.1 Umum

Bendungan beton adalah bendungan yang sebagian material penyusunnya adalah beton. Pengecoran yang dilakukan pada suatu bendungan jenis ini pada umumnya dilaksanakan di tempat (*cast in situ*). Bendungan beton memiliki beberapa kelebihan dari bendungan urugan, baik itu bendungan urugan tanah maupun urugan batu.

Kelebihan dari pemilihan bendungan beton antara lain (Varshney R.S, 1977 : 9) :

- a. Bendungan beton memiliki kestabilan yang kuat.
- b. Keseragaman sifat dari material penyusun beton pada bendungan beton.
- c. Pengerjaan bendungan beton lebih cepat.
- d. Bendungan beton lebih bersifat impermeabel.
- e. Pada bendungan beton, *spillway* bisa ditempatkan di tengah.
- f. Kapasitas tampungan air pada bendungan beton lebih besar.

Pemilihan bendungan beton pada suatu wilayah bergantung pada banyak faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain (Varshney R.S, 1977 : 2) :

- a. Topografi dan kapasitas penyimpanan.

Untuk membangun sebuah bendungan harus dipilih pada dua lembah sungai yang berdekatan. Oleh karena itu, panjang dari sebuah bendungan yang akan dibangun juga harus seefektif dan setinggi mungkin untuk memaksimalkan penyimpanan air.

- b. Ketersediaan material untuk kegiatan konstruksi.

Pengerjaan bendungan beton memerlukan material yang bermacam-macam, semakin dekat dengan tempat penyuplai material, semakin cepat proses pengerjaan suatu bendungan.

- c. Pengelakan / pengalihan air selama kegiatan konstruksi.

Pengalihan air sungai memiliki peranan penting pada pemilihan lokasi sebuah bendungan. Hal ini akan mempengaruhi desain dan jadwal pengerjaan sebuah bendungan.



d. Iklim.

Suhu yang dingin dan hujan yang lebat akan berpengaruh besar pada saat pengerjaan, terutama pada saat pengecoran.

e. Ketersediaan tempat yang ideal untuk fasilitas kegiatan konstruksi.

Lokasi yang dipilih haruslah memiliki akses yang mudah dilalui oleh kendaraan. Hal ini bertujuan memperlancar proses pengerjaan.

Untuk faktor-faktor yang lain hampir memiliki kesamaan dengan faktor-faktor yang harus diperhatikan pada saat bendungan urugan.

Indonesia adalah salah satu wilayah rawan gempa, oleh karenanya desain bangunan tahan gempa sangat diperlukan. Gempa bumi adalah suatu peristiwa alam dimana terjadi getaran pada permukaan bumi akibat adanya pelepasan energi secara tiba-tiba dari pusat gempa. Energi yang dilepaskan tersebut merambat melalui tanah dalam bentuk gelombang getaran. Gelombang getaran yang sampai ke permukaan bumi disebut gempa bumi. Gempa mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap bangunan sehingga harus diperhitungkan dengan benar dalam perencanaan struktur tahan gempa dengan tingkat keamanan yang dapat diterima.

Dalam beberapa dekade belakangan, para insinyur struktur mulai mengalami kemajuan yang berarti dalam memahami perilaku struktur terhadap beban gempa. Kemajuan ini dikombinasikan dengan hasil penelitian modern yang membuat para insinyur struktur dapat mendesain suatu struktur yang aman ketika mengalami beban gempa yang besar, selain itu dapat pula mendesain bangunan yang tetap dapat terus beroperasi selama dan setelah gempa terjadi.

Berdasarkan *UBC (Uniform Building Code) 1997*, tujuan desain bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa, dengan tiga kriteria standar sebagai berikut:

- a. Tidak terjadi kerusakan sama sekali pada gempa kecil.
- b. Ketika terjadi gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tapi bukan merupakan kerusakan struktural.
- c. Diperbolehkan terjadinya kerusakan struktural dan non struktural pada gempa kuat, namun kerusakan yang terjadi tidak menyebabkan bangunan runtuh.

Besarnya beban gempa berbeda-beda dari satu wilayah ke wilayah lainnya bergantung pada keadaan geografi dan geologi setempat. Beban gempa harus diperhitungkan untuk daerah-daerah rawan gempa. Analisis gempa pada bangunan perlu dilakukan dengan pertimbangan keamanan struktur bangunan. Beban gempa lateral

akan menimbulkan simpangan yang dapat membahayakan. Oleh karena itu perlu dilakukan kontrol terhadap simpangan ini.

Selama terjadi gempa, bangunan mengalami perpindahan vertikal dan horizontal. Gaya gempa dalam arah vertikal hanya sedikit mengubah gaya gravitasi yang bekerja pada struktur yang umumnya direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang cukup tinggi. Oleh sebab itu, struktur jarang runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya gaya gempa horizontal bekerja pada titik-titik yang lemah pada struktur yang tidak cukup kuat dan akan menyebabkan keruntuhan. Oleh karena itu, perancangan struktur tahan gempa statis adalah dengan meningkatkan kekuatan struktur terhadap gaya horizontal yang umumnya tidak cukup kuat.

### 2.1.2 Bahan Penyusun Bendungan Beton

Bendungan beton pada dasarnya disusun dari campuran semen, agregat dan air. Bahan tambah (*admixture*) kadang digunakan pada saat pengecoran dengan tujuan untuk mempercepat pelaksanaan, pengerasan, dan mengurangi kebutuhan pencampuran air. Pemilihan bahan penyusun suatu bendungan beton sangat berpengaruh terhadap keekonomisan dan daya tahan bendungan beton itu sendiri.

#### a. Semen

Bahan semen pada pekerjaan beton berfungsi sebagai bahan pengikat antara agregat kasar dan agregat halus, sehingga menghasilkan bentuk yang telah direncanakan. Semen dibuat dari berbagai bahan baku yang terdapat di alam dengan perbandingan tertentu dari setiap bahan baku yang digunakan, dan setelah melalui proses pembuatannya maka terbentuklah klinker. Klinker adalah butiran kecil yang didinginkan dengan udara di dalam tanur yang berputar. Dengan menghaluskan butiran klinker tadi, dihasilkan suatu bahan bergradasi sangat halus, dan bahan inilah yang disebut semen. Semen adalah bahan yang tersusun dari campuran kapur, silika, alumina dan oksida besi. Semen dibagi menjadi beberapa tipe yang umum dikenal, yaitu *Ordinary Portland cement*, *Slag cement*, *Pozzolanis cement* dan *High Alumina*. Jenis semen yang sering dipakai pada pengerjaan struktural adalah jenis *Portland cement* yang sering dipakai pada pelaksanaan pembangunan bendungan beton. *Low Heat Portland cement* adalah salah satu jenis dari *Slag cement* yang juga biasa dipakai pada pengerjaan suatu bendungan beton yang berfungsi untuk mengurangi efek pemanasan pada proses pengeringan beton.



## b. Agregat

Agregat adalah bahan baku pembuatan beton yang berasal dari batuan. Agregat mempunyai peranan yang sangat penting terhadap harga beton maupun kualitasnya. Sehingga 65-75 % volume total beton terdiri dari volume agregat, oleh karena itu dengan menggunakan komposisi agregat semaksimal mungkin akan diperoleh harga beton yang lebih murah. Berdasarkan distribusi kumpulan ukuran butirnya, agregat dapat dibedakan menjadi agregat halus dan agregat kasar. Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi, dan walaupun fungsinya hanya sebagai bahan pengisi ini tidak berarti peranannya dalam menentukan kekuatan beton lebih kecil daripada semen.

Agregat penyusun suatu beton terdiri dari :

### 1. Agregat Halus

Agregat halus adalah suatu agregat yang memiliki susunan gradasi butiran yang halus dan seragam. Agregat halus memiliki ukuran butir dari 0,075 - 4,8 atau 5,0 mm. Susunan butir agregat halus yang baik harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Sjafei Amri, 2005 : 18) :

- sisa di atas ayakan 4,0 mm harus maksimum 2% berat;
- sisa di atas ayakan 1,0 mm harus maksimum 10% berat;
- sisa di atas ayakan 0,25 mm harus berkisar antara 80 hingga 95% berat;

### 2. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah suatu agregat yang memiliki susunan gradasi butiran yang kasar dan seragam. Agregat kasar memiliki ukuran butiran lebih besar dari 5,0 mm. Agregat dengan susunan gradasi kasar dan seragam kurang baik digunakan untuk agregat beton, karena menghasilkan beton yang porous serta mudah mengalami proses segregasi. Proses segregasi terjadi akibat mudahnya partikel agregat halus naik ke permukaan karena terdapat banyak rongga-rongga terbuka dan menghasilkan kepadatan beton yang rendah. Susunan butir agregat kasar harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Sjafei Amri, 2005 : 23) :

- sisa di atas ayakan 31,5 mm, harus 0 %
- sisa di atas ayakan 31,5 mm, harus berkisar antara 90 - 98 % berat;
- selisih antara sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60 % dan minimum 10 % berat.

Agregat kasar berasal dari batuan keras. Campuran beton dengan agregat yang berukuran besar membutuhkan sedikit mortar per unit volume dari campuran beton. Mutu beton yang tinggi bisa didapatkan dengan cara mengurangi ukuran maksimum dari agregat kasar, lalu penambahan air dengan mempertimbangkan Faktor Air Semen (FAS) yang tepat. Sehingga, dapat diambil kesimpulan bahwa pemakaian agregat dengan ukuran butiran tertentu sangat berpengaruh terhadap kebutuhan air.

**c. Air**

Pada pekerjaan beton, air mempunyai beberapa fungsi yaitu: sebagai pembersih agregat dari kotoran yang melekat; merupakan media pencampur; mengecor dan memadatkan serta memelihara beton. Selain itu yang tidak kurang pentingnya yaitu air berfungsi sebagai bahan baku yang mengakibatkan proses kimia sehingga semen bereaksi dan semen mengeras. Air di alam dapat diperoleh dari berbagai sumber, seperti dari sungai, laut, sumur artesis ataupun dari sumur terbuka, namun tidak seluruh air di permukaan bumi dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan beton. Air yang dapat digunakan sebagai bahan pencampur pada pekerjaan beton ialah air yang tidak mengandung zat yang dapat menghalangi proses pengikatan antara semen dan agregat. Pada umumnya air yang tidak berbau dan dapat digunakan untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari boleh digunakan sebagai bahan pencampur.

## 2.2 Analisis Pembebanan

Stabilitas bendungan beton dipengaruhi gaya-gaya yang bekerja pada bendungan tersebut. Gaya-gaya yang bekerja tersebut ditransfer ke pondasi dengan sistem kerja kantilever. Oleh karena itu, pondasi yang kuat sangat dibutuhkan pada perencanaan bendungan beton. Adapun gaya-gaya yang bekerja pada suatu bendungan adalah sebagai berikut :

- a. Tekanan air statis.
- b. Tekanan hidrodinamis.
- c. Berat sendiri bangunan.
- d. Gaya tekan ke atas (*uplift*)

Suatu perencanaan biasanya memperhitungkan berbagai kombinasi kondisi pembebanan yang terjadi, selama beban-beban yang diperhitungkan memiliki kemungkinan bekerja pada bendungan tersebut. *U.S.B.R* mengategorikan kombinasi



beban yang biasa bekerja pada keadaan standar dan ekstrim. Penjabaran untuk kedua kondisi tersebut adalah (Anonim 2008 : 704) :

#### Kombinasi Pembebanan Standar

- a. Elevasi muka air normal, es dan lumpur (kalau ada).
- b. Tinggi muka air normal, gempa bumi, lumpur (kalau ada) dan gaya tekan ke atas normal.
- c. Tinggi muka air pada saat banjir maksimum, lumpur (kalau ada) dan gaya tekan ke atas normal.

#### Kombinasi Pembebanan Ekstrim

- a. Tinggi muka air saat pada saat banjir maksimum, lumpur (kalau ada) dan gaya tekan ke atas pada kondisi ekstrim.

Keseluruhan gaya yang bekerja pada suatu bendungan akan diperhitungkan untuk dikontrol kestabilannya. Stabilitas suatu bendungan dapat dinilai mencukupi apabila angka keamanan (*safety factor*) suatu bendungan terhadap beberapa kondisi sudah memenuhi. Adapun kondisi yang dimaksud adalah :

- a. Bangunan aman terhadap guling.
- b. Bangunan aman terhadap geser.
- c. Bangunan aman terhadap daya dukung tanah.

## 2.3 Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Bendungan Beton

### 2.3.1 Gaya Tekan Air (*Hydrostatic*)

Gaya tekan air adalah gaya horizontal akibat air di hulu dan hilir bendung. Tekanan air merupakan fungsi ke dalam di bawah permukaan air, dan bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan (Prastumi & Anik Masrevaniah, 2008 : 50)

$$P_w = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times h_1^2 \times b \quad (2-1)$$

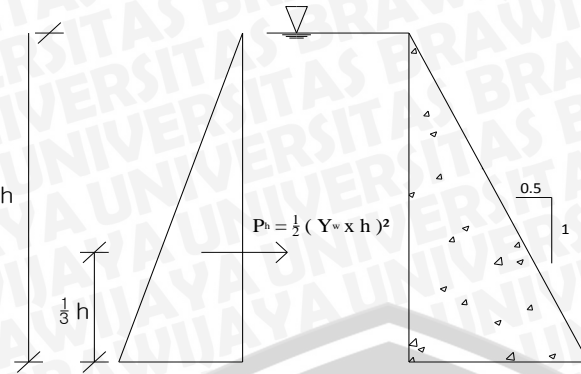
dimana :

$P_w$  = tekanan air hidrostatik (ton)

$\gamma_w$  = berat jenis air = 1 t/m<sup>3</sup>

$h$  = kedalaman air hulu (m)

$b$  = lebar sungai



Gambar 2.1 Tekanan Air pada Bendungan Beton  
(sumber : Varshney R.S, 1977 : 123 )

### 2.3.2 Tekanan Hidrodinamis ( *hydrodynamic* )

Tekanan hidrodinamis adalah tekanan yang diakibatkan air yang menekan bendungan apabila ada gempa. Besarnya tekanan hidrodinamis pada bangunan dinyatakan dengan persamaan (Soedibyo, 1993 : 111) :

$$P_d = C_d \times \gamma_w \times K_I \times h^2 \times b \tag{2-2}$$

$$y = \frac{2}{5} h \tag{2-3}$$

dimana :

$P_d$  = gaya tekan hidrostatis (ton)

$C_d$  = koefisien, biasanya diambil 7/12

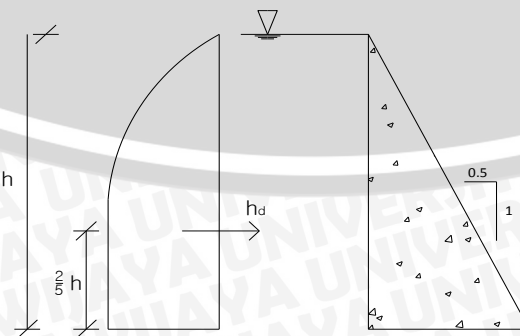
$\gamma_w$  = berat jenis air = 1 t/m<sup>3</sup>

$K_I$  = koefisien gempa

$h$  = tinggi muka air

$y$  = jarak dasar terhadap pusat tekanan air yang bekerja (m)

$b$  = lebar sungai



Gambar 2.2 Tekanan Air Hidrodinamis pada Bendungan Beton  
(sumber : Soedibyo, 1993 : 111)



### 2.3.3 Gaya Gempa

Gaya horizontal karena gempa diambil sama dengan berat bangunan dikalikan dengan intensitas gempa. (Prastumi & Anik Masrevaniah, 2008 : 56).

$$he = e \times V \quad (2-4)$$

dimana :

$he$  = gaya horizontal karena gempa (ton)

$e$  = intensitas gempa = 0,1 - 0,15

$V$  = gaya vertikal karena berat sendiri bangunan (ton)

### 2.3.4 Gaya Tekan ke Atas (*Uplift*)

Gaya *uplift* timbul akibat bangunan bendung terendam di air, yang mengakibatkan pengurangan berat efektif bangunan itu sendiri. Rumus gaya tekan ke atas untuk bangunan yang didirikan pada pondasi batuan adalah (Prastumi & Anik Masrevaniah, 2008 : 51)

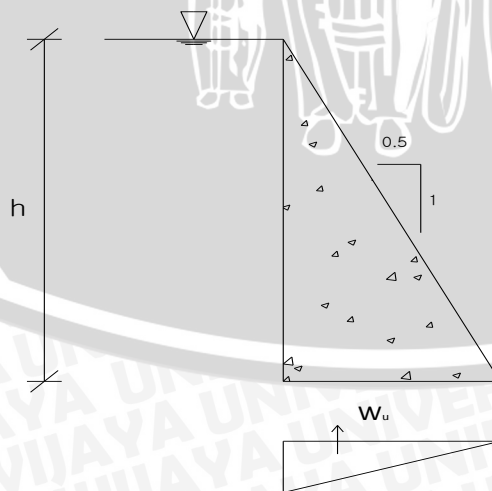
$$P_u = C \times \gamma_w \times \left[ \frac{1}{2} \times h \times b \right] \quad (2-5)$$

dimana :

$P_u$  = gaya tekan ke atas / uplift (ton)

$C$  = proporsi luas dimana tekanan hidrostatis bekerja ( $C=1$ , untuk semua jenis pondasi )

$\gamma_w$  = berat jenis air = 1 t/m<sup>3</sup>



Gambar 2.3 Gaya Tekan ke Atas (*uplift*) pada Bendungan Beton  
(sumber : Varshney R.S, 1977 : 123)

### 2.3.5 Berat Sendiri Bangunan

Berat sendiri bangunan dihitung berdasar pada jenis bahan apakah yang dipakai untuk bangunan tersebut. Adapun rumus yang digunakan adalah (Prastumi & Anik Masrevaniah, 2008 : 56) :

$$V = A \times \gamma_b \times b \quad (2-6)$$

dimana :

$V$  = gaya vertikal karena berat sendiri (ton)

$A$  = luas penampang bangunan ( $m^2$ )

$\gamma_b$  = berat jenis bahan ( $t/m^3$ )

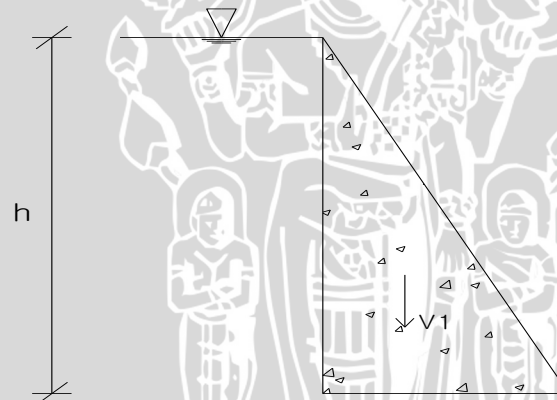
$b$  = lebar bangunan (m)

Berat jenis bahan yang dapat digunakan sebagai acuan

– pasangan batu =  $2,2 t/m^3$

– beton tumbuk =  $2,3 t/m^3$

– beton bertulang =  $2,4 t/m^3$



Gambar 2.4 Berat Sendiri Bangunan  
(sumber : Varshney R.S, 1977 : 57 )

## 2.4 Kebutuhan Stabilitas

### 2.4.1 Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

Kestabilan tanah pada daya dukung tanah didasarkan pada rumusan-rumusan (Suyono Sosrodarsono, 1981 : 86), jika titik tangkap resultan gaya yang terletak didalam batas  $1/3$  dari tepi pondasi masing-masing sisi maka :

$$e = \left[ \frac{\Sigma M}{\Sigma V} - \frac{L}{2} \right] \leq \frac{L}{6} \quad (2-7)$$

$$\sigma = \frac{\Sigma V}{A} \left( 1 \pm \frac{6e}{L} \right) < \sigma_{ijin} \quad (2-8)$$



dimana :

$\Sigma M$  = jumlah momen (tm)

$\Sigma V$  = jumlah gaya vertikal (ton)

$L$  = panjang pondasi (m)

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

$e$  = eksentrisitas akibat beban yang bekerja (m)

#### 2.4.2 Stabilitas Terhadap Geser (*Sliding*)

Koefisien keamanan yang dipakai sebagai acuan suatu bendungan aman terhadap gelincir (geser) ditentukan dengan rumus :

$$F_s = \frac{f \Sigma (V - u) + C \times A}{\Sigma H} \quad (2-9)$$

dimana :

$F_s$  = faktor keamanan

$f$  = koefisien gesekan (dari tabel 2.1)

$V$  = total gaya vertikal (ton)

$u$  = gaya tekan ke atas (ton)

$C$  = satuan kekuatan geser bahan (t/m<sup>2</sup>)  
(untuk beton = 11 t/m<sup>2</sup>)

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

Tabel 2.1 Harga-Harga Perkiraan Untuk Koefisien Gesekan

No	Bahan	f
1	Pasangan batu pada pangan pondasi	0,60 – 0,75
2	Batu keras berkualitas baik	0,75
3	Kerikil	0,50
4	Pasir	0,40
5	Lempung	0,30

Sumber : Prastumi & Anik Masrevaniah, 2008 : 59

#### 2.4.3 Stabilitas Terhadap Guling (*Overtunning*)

Untuk mengetahui apakah suatu bangunan aman terhadap guling, dapat ditinjau melalui 2 hal sebagai berikut :

- Resultante semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horizontal, termasuk gaya angkat, harus memotong inti ( $e < \frac{1}{6} l$ ). Jika

resultante tidak memotong inti akibatnya reaksi pondasi minimum menjadi negatif, berarti terjadi tarikan pada bidang dasar pondasi.

b. Menggunakan rumus :

$$F_s = \frac{\sum M_v}{\sum M_H} \quad (2-10)$$

$F_s > 1,1$  untuk kondisi gempa

$F_s > 1,5$  untuk kondisi normal

dimana :

$F_s$  = faktor keamanan

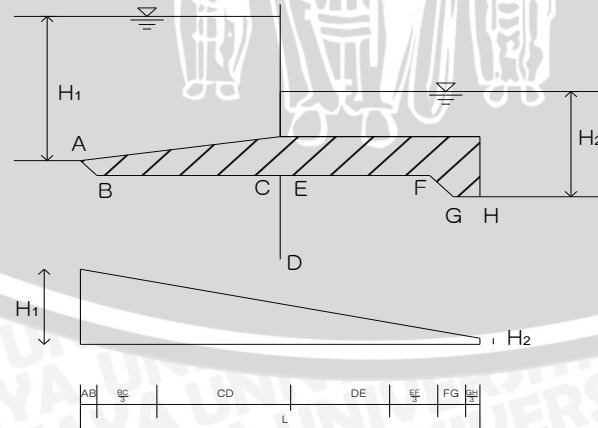
$\sum M_v$  = momen vertikal semua gaya terhadap titik guling

$\sum M_H$  = momen horizontal semua gaya terhadap titik guling

#### 2.4.4 Stabilitas Terhadap Erosi Bawah Tanah (*Piping*)

Agar gaya-gaya hidrodinamis yang timbul pada aliran filtrasi tidak menyebabkan erosi bawah tanah (*piping*) yang sangat membahayakan baik tubuh bendungan maupun pondasinya, maka kecepatan aliran filtrasinya dalam tubuh bendungan dan pondasi mempunyai batas-batas tertentu, maka perlu dikontrol keamanan tubuh bendungan terhadap bahaya *piping*. Untuk mengontrol keamanan terhadap bahaya *piping* bisa dihitung menggunakan metode *Lane*.

Metode *Lane* disebut metode angka rembesan *Lane*, yaitu suatu metode yang banyak dipakai dan cukup memberikan hasil yang baik untuk mengetahui bahaya rembesan pada pondasi



Gambar 2.6 Metode Angka Rembesan *Lane*  
(sumber : Prastumi & Anik Masrivenah, 2008 : 61)



Gambar 2.6 membandingkan panjang jalur rembesan di bawah bangunan sepanjang bidang kontak bangunan dan pondasi dengan beda tinggi muka air antara kedua sisi bangunan. Di sepanjang jalur rembesan ini, kemiringan yang lebih curam dari  $45^\circ$  dianggap horizontal. Jalur horizontal dianggap lemah dan hanya mempunyai daya tahan  $1/3$  dari jalur vertikal. Rumus yang digunakan adalah :

$$C_L = \frac{\sum L_V + \frac{1}{3} \sum L_H}{H} \quad (2-11)$$

dimana :

$C_L$  = angka rembesan Lane (tabel 2.2)

$\sum L_V$  = jumlah panjang aliran vertikal (m)

$\sum L_H$  = jumlah panjang aliran horizontal (m)

$H$  = beda tinggi muka air (m)

Tabel 2.2 Harga-Harga Minimum Rembesan Lane ( $C_L$ )

No	Jenis Tanah	$C_L$
1	Pasir sangat halus atau tanah	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 : Prastumi & Anik Masrevaniah, 2008 : 62

Angka rembesan pada tabel 2.2 sebaiknya dipakai :

- 100 % jika tidak dipakai pembuang, tidak dipakai jaringan aliran dan tidak dilakukan penyelidikan dengan model.
- 80 % jika ada pembuangan air tapi tidak ada penyelidikan maupun jaringan aliran.
- 70 % jika semua bagian tercakup.

## 2.5 Lebar Puncak dan Tinggi Jagaan (*Free Board*)

Lebar puncak dari suatu bendungan pada umumnya digunakan sebagai jalan. Lebar puncak yang ekonomis kurang lebih 14 % dari tinggi bendungan. Di lapangan lebar yang sering dijumpai mulai dari 6 sampai 12 meter.

Tinggi jagaan (*free board*) berfungsi untuk mencegah terjadinya *overtopping* selama terjadi debit maksimum yang disertai dengan gelombang. Tinggi jagaan bisa dihitung menggunakan rumus (Varshney R.S, 1977 : 123)

$$\text{Tinggi jagaan} = 1,5 h_w \quad (2-12)$$

dimana :

$h_w$  = tinggi gelombang yang terjadi pada saat debit maksimum (m)

## 2.6 Hasil dari Penelitian yang Dilakukan Sebelumnya

Langkah awal pengerjaan dimulai dari perhitungan gaya-gaya yang bekerja baik itu horizontal maupun vertikal untuk mendapatkan nilai momen yang bekerja pada suatu bendungan dengan profil dasar bendungan, yaitu bendungan tanpa tinggi jagaan. Langkah selanjutnya adalah perhitungan dimensi dengan menggunakan konsep stabilitas dengan tujuan untuk mendapatkan daerah hasil (*range*) kemiringan lereng suatu bendungan. Perhitungan dimensi dengan menggunakan konsep stabilitas ini akan diperhitungkan dengan kondisi tinggi air yang dimana tinggi air sama tinggi dengan tinggi bendungan untuk bentuk dasar bendungan. Karena pada studi terdahulu menunjukkan faktor kemiringan lereng sudah memenuhi stabilitas terhadap guling dan geser, untuk kondisi tinggi air yang memiliki tinggi setengah dari tinggi bendungan dan pada saat kondisi bendungan kosong tanpa air.

Masing-masing perlakuan harus diperiksa apakah tegangan yang terjadi masih di dalam *kern* atau tidak, untuk mendapatkan stabilitas yang mencukupi. Setelah diketahui stabilitas bendungan tanpa tinggi jagaan, maka akan dicoba menganalisis stabilitas bendungan dengan tinggi jagaan (*free board*).

Dari dasar teori yang ada, studi perencanaan pada bendungan beton sederhana ini dititikberatkan pada pemilihan dimensi yang efisien, dimana dimensi bendungan tersebut harus memenuhi stabilitas yang disyaratkan. Oleh karena itu, pemilihan dimensi pada bendungan dicari dengan menggunakan konsep perhitungan dari rumusan angka keamanan (*safety factor*), baik itu terhadap guling maupun geser dimana akan dihitung dalam kondisi normal dan gempa.



Gaya horizontal yang bekerja sangat mempengaruhi faktor kemiringan lereng yang direncanakan. Faktor kemiringan lereng menentukan seberapa lebar dasar sebuah bendungan yang otomatis mempengaruhi gaya vertikal yang akan menahan gaya horizontal yang bekerja. Pada bendungan beton sederhana dengan *elementary profile*, faktor kemiringan memiliki *range* : 0,612 (kondisi normal) dan 0,73 (kondisi gempa) sehingga kemiringan lereng bendungan yang digunakan masih tergolong landai agar dapat memenuhi kestabilan terhadap guling dan geser. Hal ini disebabkan besarnya gaya horizontal yang bekerja. Sehingga, untuk melawan gaya horizontal yang besar diperlukan gaya vertikal yang besar pula. Dalam hal ini dilakukan dengan penambahan bangunan pelengkap seperti *free board*. Penambahan *free board* dan pondasi menambah angka keamanan stabilitas bendungan terhadap guling dan geser. Nilai kemiringan lereng bendungan bervariasi untuk setiap tinggi bendungan yang akan direncanakan. Nilai kemiringan lereng diperoleh dari grafik hubungan tinggi bendungan dan faktor kemiringan lereng yang sudah disusun.

Lebar jalan inspeksi, kedalaman pondasi dan kemiringan lereng bendungan mempengaruhi kemampuan bendungan menahan guling. Semakin lebar jalan inspeksi yang digunakan, semakin tegak kemiringan lereng bendungan yang akan direncanakan. Akan tetapi, bendungan tersebut dinilai tidak ekonomis karena membutuhkan volume yang lebih banyak. Oleh karena itu, pada tahap awal perencanaan lebar jalan inspeksi sebaiknya sesuai kebutuhan untuk menampung volume kendaraan rencana. Kemiringan lereng bendungan yang akan digunakan juga bisa diminimalisir dengan menambah kedalaman pondasi. Nilai kemiringan lereng bendungan yang didapat dari grafik hubungan tinggi bendungan dan faktor kemiringan lereng sudah aplikatif dalam memenuhi angka keamanan stabilitas bendungan terhadap geser dan guling pada penelitian yang sudah dilakukan terdahulu. (Fabryandri Y.P. 2011 : 81)

Dalam pembahasan masalah yang akan dikaji nantinya, memiliki beberapa pengembangan yang berbeda dari penelitian sebelumnya, dimana akan dikembangkan dengan bentuk bendungan beton sederhana yang berbeda (terdapat kemiringan di bagian hulu dan hilir), jumlah volume beton yang berbeda karena bentuk bendungan yang berbeda dari yang sebelumnya, dan stabilitas terhadap guling yang akan menjadi perhatian lebih karena dari penelitian sebelumnya didapatkan bahwa stabilitas terhadap geser relatif lebih aman

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Garis Besar Pembahasan

Pembahasan yang dilakukan pada studi perencanaan ini dititikberatkan pada perencanaan kemiringan lereng yang paling efisien pada bendungan beton sederhana. Kemiringan lereng akan mempengaruhi stabilitas dari suatu bendungan, untuk itu perlu direncanakan terlebih dahulu berapa faktor kemiringan lereng yang paling efisien. Pada awal perhitungan akan dianalisis gaya-gaya yang bekerja pada suatu bendungan dengan asumsi yaitu, data tinggi muka air setinggi bendungan ( $h_{ma} = h$ ) yang memakai bentuk dasar dari suatu bendungan beton (tanpa *free board*). Analisis gaya tersebut akan digunakan untuk memperhitungkan stabilitas dari suatu bendungan beton sederhana yang akan didesain. Suatu bendungan biasanya dilengkapi dengan tinggi jagaan (*free board*) yang berfungsi untuk menahan limpasan air pada saat terjadi debit maksimum. Tinggi jagaan ini akan mempengaruhi kestabilan dari suatu bendungan. Maka, perhitungan dengan strukturisasi yang sama akan dilakukan pada profil bendungan beton sederhana dengan tambahan *free board* pada puncaknya. Untuk mengetahui kestabilan bendungan, akan dilakukan analisis dengan memperhitungkan dimensi tinggi jagaan dengan kondisi tinggi muka air setinggi bendungan ( $h_{ma} = h$ ). Masing-masing perlakuan harus diperiksa apakah tegangan yang terjadi masih di dalam *kern* atau tidak, untuk mendapatkan stabilitas yang mencukupi.

Selain itu, pemilihan dimensi yang efisien juga sangat penting, dimana dimensi bendungan tersebut harus memenuhi stabilitas yang disyaratkan. Oleh karena itu, pemilihan dimensi pada bendungan dicari dengan menggunakan konsep perhitungan dari rumusan angka keamanan (*safety factor*), baik itu terhadap guling maupun geser dimana akan dihitung dalam kondisi normal dan gempa. Penambahan *free board* dan pondasi dapat menambah angka keamanan stabilitas bendungan terhadap guling dan geser. Nilai kemiringan lereng bendungan bervariasi untuk setiap tinggi bendungan yang akan direncanakan. Nilai kemiringan lereng diperoleh dari grafik hubungan tinggi bendungan dan faktor kemiringan lereng yang sudah disusun. Dalam pembahasan masalah yang akan dikaji nantinya, memiliki beberapa pengembangan yang berbeda dari penelitian sebelumnya, dimana akan dikembangkan dengan bentuk bendungan



beton sederhana yang berbeda (terdapat kemiringan di bagian hulu dan hilir), jumlah volume beton yang berbeda karena bentuk bendungan yang berbeda dari yang sebelumnya, dan stabilitas terhadap guling yang akan menjadi perhatian lebih karena dari penelitian sebelumnya didapatkan bahwa stabilitas terhadap geser relatif lebih aman.

Berikut pada Tabel 3.1 merupakan contoh rancangan tabel yang akan digunakan dalam proses perhitungan. Dimana di dalamnya terdapat variasi variabel, beberapa variabel telah diketahui dari data-data awal yang telah ditentukan seperti ketinggian dari bendungan yaitu 150 m, lebar *free board* dan kedalaman pondasi.

Tabel 3.1 Rancangan Tabel yang Digunakan Dalam Proses Perhitungan

SF PADA KEADAAN NORMAL UNTUK KETINGGIAN 150 m, LEBAR FREE BOARD 4 m

Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak Horizontal ( $j_1$ ) (m)	Jarak Horizontal ( $j_2$ ) (m)	Gaya Vertikal (t)	Gaya Horizontal (t)	Momen Vertikal (tm)	Momen Horizontal (tm)	SF berdasar Guling	SF berdasar Geser
0.7	0.4								
0.71	0.41								
0.72	0.42								
0.73	0.43								
0.74	0.44								

### 3.2 Tahapan Studi

Tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam studi ini adalah sebagai berikut :

1. Asumsi data dan Proses Perhitungan
2. Pembahasan
3. Kesimpulan

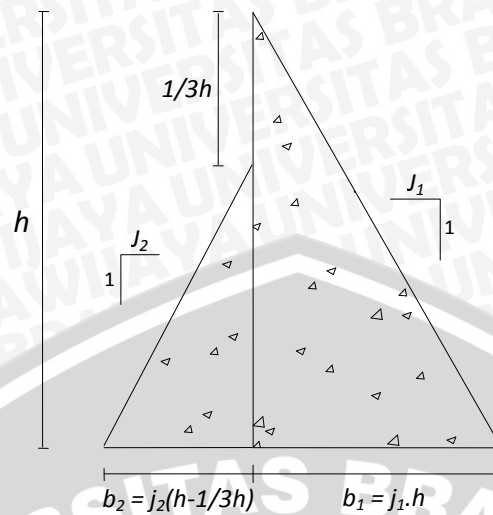
### 3.3 Asumsi Data

Pada studi ini dilakukan pengolahan data melalui pengansumsian tinggi muka air yang ditampung pada bendungan beton sederhana setinggi bentuk dasar dari bendungan beton tersebut ( $h_{ma} = h$ ). Untuk penentuan berat jenis air ( $\gamma_w$ ) dan berat jenis beton ( $\gamma_c$ ) terutama beton bertulang, diambil dari standar peraturan yang berlaku di Indonesia.

### 3.4 Perhitungan Data

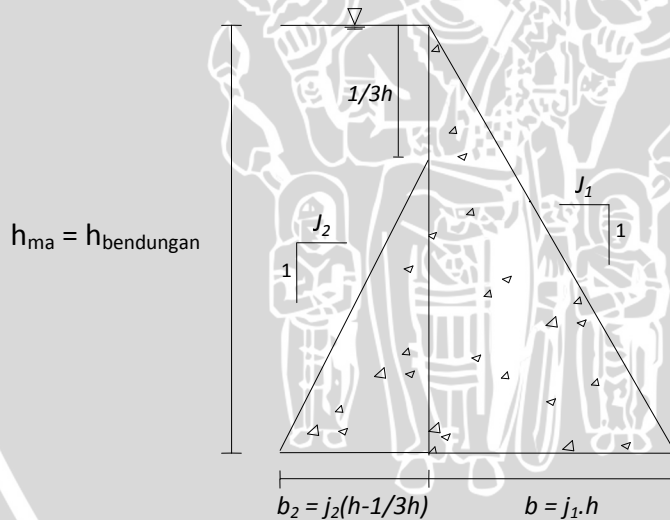
Adapun perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan bentuk dasar bendungan beton sederhana dengan permisalan nilai kemiringan lereng bendungan (memakai notasi  $j$ ).



Gambar 3.1 Bentuk Dasar Bendungan Beton dengan Lebar 'j'  
(Sumber: Perhitungan)

2. Analisis gaya-gaya yang bekerja dengan kondisi, yaitu tinggi muka air sama dengan tinggi bendungan. ( $h_{ma} = h$ )



Gambar 3.2 Kondisi Tinggi Muka Air  
(Sumber : Perhitungan)

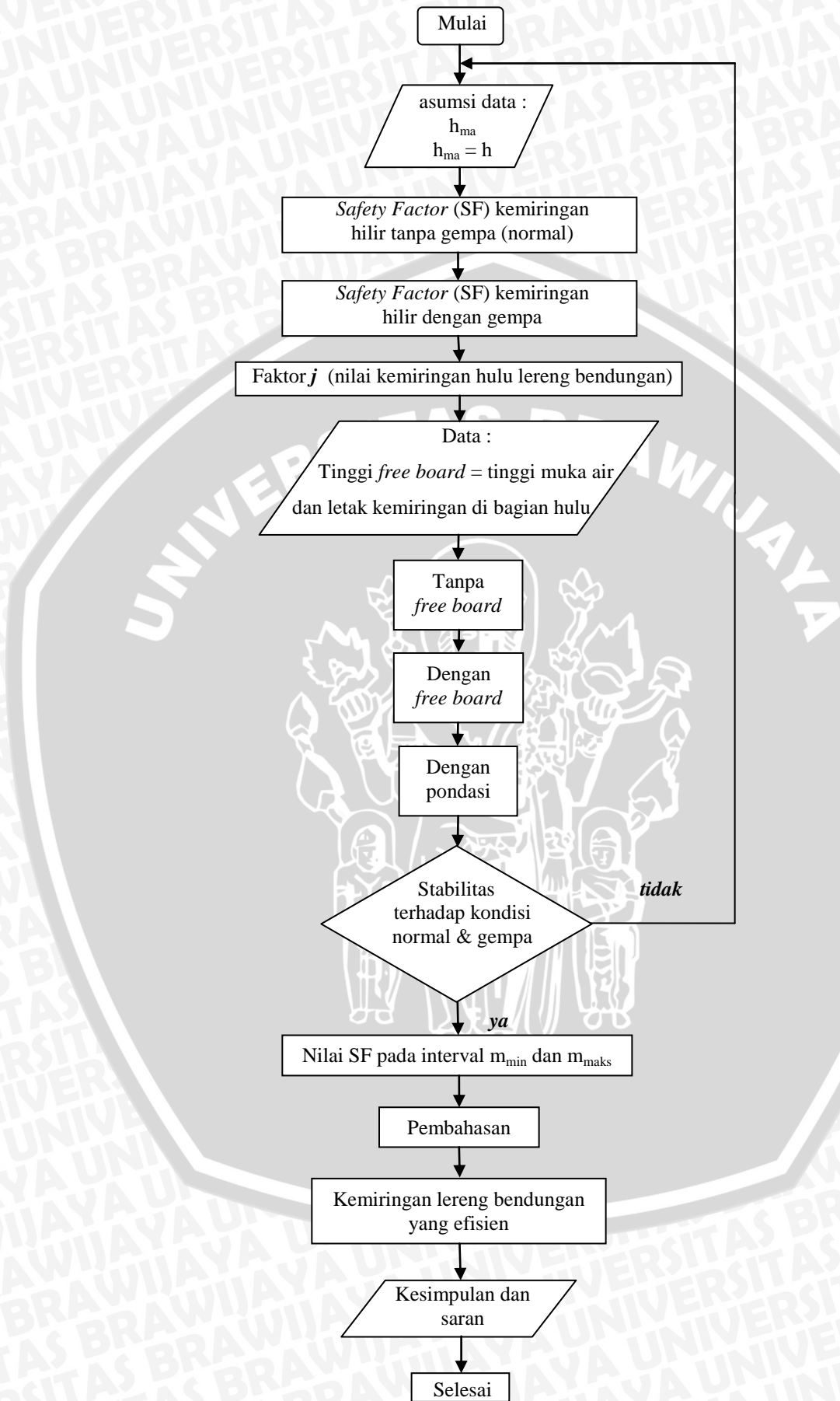
3. Dilakukan pengecekan stabilitas terhadap guling dan geser, sehingga didapatkan dua persamaan yang dinotasikan SF yang mengandung konstanta nilai kemiringan lereng bendungan ( $j$ ).
4. Dilakukan substitusi pada persamaan SF dan diselesaikan dengan persamaan kuadrat  $a, b, c$ .



5. Didapat nilai  $m$  yang bernilai minimum dan maksimum. Dicoba-coba nilai  $m$  pada interval minimum dan maksimum yang diketahui agar nilai SF terpenuhi dengan tidak mengesampingkan nilai  $j$  yang efisien.
6. Pemilihan bentuk bendungan beton sederhana yang menggunakan tinggi jagaan (*free board*) dengan permisalan lebar bendungan (memakai notasi  $j_1$ ).
7. Dilakukan analisis dengan cara yang sama pada butir 2-5.
8. Dilakukan pembahasan terhadap lebar bendungan yang diperoleh untuk mencari kemiringan lereng bendungan yang efektif.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





Gambar 3.3 Diagram Alir Perencanaan Bendungan Beton Sederhana dengan Kemiringan di Hulu.



## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Proses Perhitungan

Data - data yang digunakan dalam perhitungan adalah data ketetapan yang hampir mendekati kegiatan nyata di lapangan mencakup tinggi bendungan beton yang akan digunakan sebagai perhitungan pendekatan. Adapun data-data teknis yang digunakan sebagai berikut :

$$h = 150 \text{ m}$$

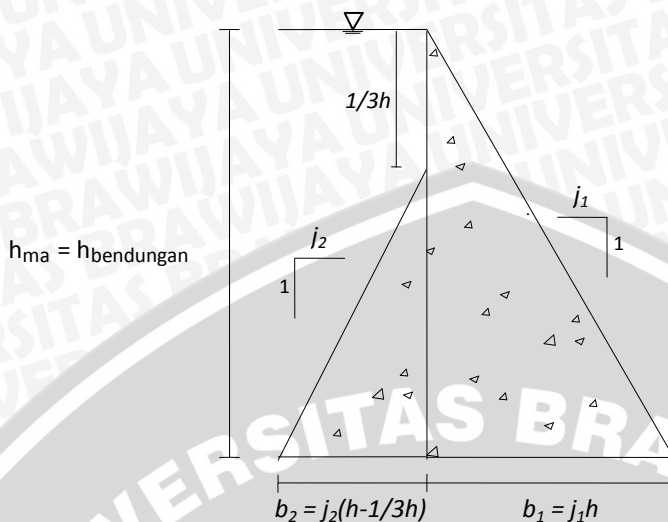
$$\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_b = 2,4 \text{ t/m}^3$$

Proses perhitungan nilai kemiringan lereng pada bendungan beton akan dilakukan melalui berbagai tahap. Pada setiap tahapan perhitungan tersebut, nilai-nilai yang telah ditetapkan sebagai data awal seperti tinggi dari bendungan beton yang akan digunakan untuk percobaan perhitungan sebesar 150 meter, berat jenis air sebesar 1 ton per meter kubik dan berat jenis beton bertulang sebesar 2,4 ton per meter kubik, akan digunakan terus untuk setiap tahap perhitungannya. Tahapan pengerjaan perhitungan harus berurutan, mengingat setiap hasil dari perhitungan awal akan digunakan sebagai acuan untuk perhitungan selanjutnya. Perhitungan nilai kemiringan lereng juga berkaitan dengan angka keamanan (SF) dari suatu bendungan, sehingga dengan nilai yang diperoleh berdasarkan ketetapan yang berlaku akan ditampilkan juga SF masing-masing profil bendungan dengan nilai kemiringan lereng bendungan yang memenuhi. Faktor kemiringan lereng yang telah didapat nanti akan dikalikan dengan tinggi bendungan untuk menentukan lebar dasar bendungan.

## 4.2 Bendungan Beton dengan Profil Sederhana dengan $h_{\text{muka air}}$ sama dengan

$h_{\text{bendungan}}$



Gambar 4.1 Tinggi Muka Air

Perhitungan pertama yang dilakukan adalah menghitung nilai kemiringan lereng yang didapatkan untuk bendungan dengan profil sederhana pada gambar 4.1. Variabel yang telah ditetapkan akan digunakan dalam proses perhitungan selanjutnya.

### 4.2.1 Analisis Gaya

Gaya yang bekerja pada bendungan dengan profil sederhana antara lain :

a) Berat Sendiri Bangunan.

$$\begin{aligned} V_1 &= A \times \gamma_b \times pias \text{ 1 m} \\ &= 1/2 \times h \times b_1 \times 2,4 \times 1 \\ &= h \times j_1 h \times 1,2 \\ &= 1,2j_1 h^2 \text{ ton} \end{aligned}$$

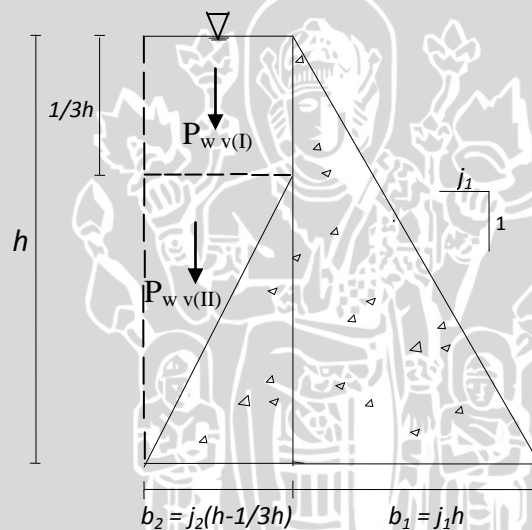
$$\begin{aligned} V_2 &= A \times \gamma_b \times pias \text{ 1 m} \\ &= 1/2 (h - 1/3h) \times b_2 \times 2,4 \times 1 \\ &= (h - 1/3h) \times j_2 (h - 1/3h) 1,2 \\ &= 1,2j_2 (h - 1/3h)^2 \text{ ton} \\ &= 1,2j_2 (h^2 - 2/3h^2 + 1/9h^2) \\ &= 1,2j_2 h^2 - 0,8j_2 h^2 + 0,13j_2 h^2 \\ &= 0,53j_2 h^2 \text{ ton} \end{aligned}$$



Momen yang timbul akibat berat sendiri bangunan dari ujung hilir bangunan,

$$\begin{aligned}
 MV_1 &= V_1 \times 2/3b_1 \\
 &= 1,2j_1h^2 \times 2/3j_1h \\
 &= 1,2j_1h^2 \times 2/3j_1h \\
 &= 0,8j_1^2h^3 \text{ ton meter} \\
 MV_2 &= V_2 \times ((1/3b_2) + (b_1)) \\
 &= (1,2j_2h^2 - 0,8j_2h^2 + 0,13j_2h^2) \times 1/3j_2(h - 1/3h) + (j_1h) \\
 &= (1,2j_2h^2 - 0,8j_2h^2 + 0,13j_2h^2) \times (1/3j_2h - 1/9j_2h) + (j_1h) \\
 &= (1,2j_2h^2 - 0,8j_2h^2 + 0,13j_2h^2) \times (2/9j_2h) + (j_1h) \\
 &= (2,4/9j_2^2h^3 - 1,6/9j_2^2h^3 + 0,26/9j_2^2h^3) + (1,2j_1j_2h^3 - 0,8j_1j_2h^3 + 0,13j_1j_2h^3) \\
 &= (0,12j_2^2h^3 + 0,53j_1j_2h^3) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

b) Gaya Tekan Air Statis.



Gambar 4.2 Gaya Tekan Air Statis pada Bendungan Beton

$$\begin{aligned}
 P_{w \text{ horisontal}} &= \frac{1}{2} \times \gamma_w \times h^2 \times b \\
 &= 1/2 \times 1 \times h^2 \times 1 \\
 &= 0,5h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{w \text{ vertikal (I)}} &= 1/3h \times \gamma_w \times b_2 \\
 &= 1/3h \times 1 \times j_2(h - 1/3h) \\
 &= 1/3h(j_2h - 1/3j_2h) \\
 &= 1/3j_2h^2 - 1/9j_2h^2 \\
 &= 0,22j_2h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{w \text{ vertikal (II)}} &= 1/2 (h - 1/3h) \times \gamma_w \times b_2 \\
 &= 1/2 (h - 1/3h) \times 1 \times j_2 (h - 1/3h) \\
 &= (1/2h - 1/6h) \times (j_2h - 1/3j_2h) \\
 &= 2/6h \times 2/3j_2h \\
 &= 0,22j_2h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Momen yang timbul akibat gaya tekan air statis,

$$\begin{aligned}
 MP_{w \text{ horizontal}} &= 1/3h \times P_{w \text{ horizontal}} \\
 &= 1/3h \times 1/2h^2 \\
 &= 0,17h^3 \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MP_{w \text{ vertikal (I)}} &= P_{w \text{ vertikal (I)}} ((1/2b_2) + b_1) \\
 &= 0,22j_2h^2 ((1/2j_2(h - 1/3h) + j_1h)) \\
 &= 0,22j_2h^2 (2j_2h + j_1h) \\
 &= (0,44j_2^2h^3 + 0,22j_1j_2h^3) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MP_{w \text{ vertikal (II)}} &= P_{w \text{ vertikal (II)}} ((2/3b_2) + b_1) \\
 &= 0,22j_2h^2 ((2/3j_2(h - 1/3h) + j_1h) \\
 &= 0,22j_2h^2 (2/3j_2h - 2/9j_2h) + j_1h) \\
 &= 0,15j_2^2h^3 - 0,05j_2^2h^3 + j_1h \\
 &= (0,1j_2^2h^3 + j_1h) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

c) Gaya Tekan Air Dinamis.

$$\begin{aligned}
 P_d &= C_d \times \gamma_w \times K_1 \times h^2 \times b \\
 &= 7/12 \times 1 \times 0,15 \times h^2 \times 1 \\
 &= 0,09h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Momen yang timbul akibat gaya tekan air dinamis,

$$\begin{aligned}
 MP_d &= 2/5h \times P_d \\
 &= 2/5h \times 0,0875h^2 \\
 &= 0,04h^3 \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

d) Gaya Tekan ke atas (*Up lift*).

$$\begin{aligned}
 P_u &= C \times \gamma_w \times \left[ \frac{1}{2} \times h \times b \right] \\
 &= 1 \times 1 \times (1/2 \times h \times (b_1 + b_2) \times \text{pias } 1 \text{ m}) \\
 &= 1/2 \times h (j_1h + (j_2(h - 1/3h))) \\
 &= 1/2 \times h (j_1h + (j_2h - 1/3j_2h)) \\
 &= 1/2 \times h (j_1h + (0,67j_2h)) \\
 &= (0,5j_1h^2 + 0,34j_2h^2) \text{ ton}
 \end{aligned}$$



Momen yang timbul akibat *Up Lift*,

$$\begin{aligned}
 MP_u &= 2/3(b_1 + b_2) \times P_u \\
 &= 2/3(j_1 h + j_2(h - 1/3h)) \times (0,5j_1 h^2 + 0,34j_2 h^2) \\
 &= 2/3(j_1 h + (j_2 h - 1/3j_2 h)) \times (0,5j_1 h^2 + 0,34j_2 h^2) \\
 &= 2/3(j_1 h + 0,67j_2 h) \times (0,5j_1 h^2 + 0,34j_2 h^2) \\
 &= (0,67j_1 h + 0,45j_2 h) \times (0,5j_1 h^2 + 0,34j_2 h^2) \\
 &= (0,34j_1^2 h^3 + 0,46j_1 j_2 h^3 + 0,15j_2^2 h^3) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.2 Perhitungan Stabilitas Berdasar Guling dan Geser Dalam Kondisi Normal

Stabilitas bendungan terhadap guling pada keadaan normal dihitung dengan rumusan sebagai berikut : (dengan nilai  $j_1 = 0,45$  dari penelitian yang terdahulu, diambil nilai kemiringan lereng yang terkecil)

$$\begin{aligned}
 SF_1 &= \frac{\Sigma M_v}{\Sigma M_H} \\
 1,05 &= \frac{(M_v + MP_{w \text{ vertikal}} - MP_u)}{(MP_{w \text{ horizontal}})} \\
 1,05 &= \frac{(0,8j_1^2 h^3 + (0,12j_2^2 h^3 + 0,53j_1 j_2 h^3)) + (0,44j_2^2 h^3 + 0,22j_1 j_2 h^3 + 0,1j_2^2 h^3 + j_1 h)}{h^3/6} \\
 &\quad - \frac{(0,34j_1^2 h^3 + 0,46j_1 j_2 h^3 + 0,15j_2^2 h^3)}{h^3/6} \\
 1,05 &= \frac{(0,8 \cdot 0,45^2 h^3 + (0,12j_2^2 h^3 + 0,53 \cdot 0,45j_2 h^3)) + (0,44j_2^2 h^3 + 0,22 \cdot 0,45j_2 h^3 + 0,1j_2^2 h^3 + 0,45h)}{h^3/6} \\
 &\quad - \frac{(0,34 \cdot 0,45^2 h^3 + 0,46 \cdot 0,45j_2 h^3 + 0,15j_2^2 h^3)}{h^3/6} \\
 1,05 &= \frac{1721250j_2^2 + 391500j_2 + 33288}{562500} \\
 1721250j_2^2 + 391500 - 342165 &= 0 \\
 j_2 &= 0,35 \quad \text{atau} \\
 j_2 &= -0,57
 \end{aligned}$$

Stabilitas bendungan terhadap geser pada keadaan normal dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SF_2 &= \frac{f\Sigma(V-u) + C \times A}{\Sigma H} \\
 1,1 &= \frac{0,6((1,2j_1 h^2 + 0,53j_2 h^2) - (0,5j_1 h^2 + 0,34j_2 h^2)) + (110(j_1 h + j_2 h))}{h^2/2}
 \end{aligned}$$

$$1,1 = \frac{0,6((1,2 \cdot 0,45 \cdot 150^2 + 0,53j_2 \cdot 150^2) - (0,5 \cdot 0,45 \cdot 150^2 + 0,34j_2 \cdot 150^2)) + (110(0,45 \cdot 150 + j_2 \cdot 150))}{150^2/2}$$

$$1,1 = \frac{0,6((10260 + 11925j_2) - (2565 + 4590j_2)) + (6270 + 16500j_2)}{150^2/2}$$

$$1,1 = \frac{6156 + 7155j_2 - 2565 - 4590j_2 + 6270 + 16500j_2}{11250}$$

$$j_2 = 0,13$$





Tabel 4.1 Nilai SF Setiap Faktor Kemiringan Lereng Kondisi Normal  $h = 150$  m

Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak Horizontal(J1) ( m )	Jarak Horizontal(J2) ( m )	Gaya Vertikal ( t )	Gaya Horizontal ( t )	Momen Vertikal ( tm )	Momen Horizontal ( tm )	SF berdasar Guling		SF berdasar Geser	
0.45	0.54	67.5	81	9396	11250	1054201.5	562500	1.87	OK	1.16	OK
0.45	0.53	67.5	79.5	9353.25	11250	1031379.8	562500	1.83	OK	1.16	OK
0.45	0.52	67.5	78	9310.5	11250	1008902.3	562500	1.79	OK	1.16	OK
0.45	0.51	67.5	76.5	9267.75	11250	986769	562500	1.75	OK	1.15	OK
0.45	0.5	67.5	75	9225	11250	964980	562500	1.72	OK	1.15	OK
0.45	0.49	67.5	73.5	9182.25	11250	943535.25	562500	1.68	OK	1.15	OK
0.45	0.48	67.5	72	9139.5	11250	922434.75	562500	1.64	OK	1.15	OK
0.45	0.47	67.5	70.5	9096.75	11250	901678.5	562500	1.60	OK	1.15	OK
0.45	0.46	67.5	69	9054	11250	881266.5	562500	1.57	OK	1.14	OK
0.45	0.45	67.5	67.5	9011.25	11250	861198.75	562500	1.53	OK	1.14	OK
0.45	0.44	67.5	66	8968.5	11250	841475.25	562500	1.50	OK	1.14	OK
0.45	0.43	67.5	64.5	8925.75	11250	822096	562500	1.46	OK	1.14	OK
0.45	0.42	67.5	63	8883	11250	803061	562500	1.43	OK	1.13	OK
0.45	0.41	67.5	61.5	8840.25	11250	784370.25	562500	1.39	OK	1.13	OK
0.45	0.4	67.5	60	8797.5	11250	766023.75	562500	1.36	OK	1.13	OK
0.45	0.39	67.5	58.5	8754.75	11250	748021.5	562500	1.33	OK	1.13	OK
0.45	0.38	67.5	57	8712	11250	730363.5	562500	1.30	OK	1.12	OK
0.45	0.37	67.5	55.5	8669.25	11250	713049.75	562500	1.27	OK	1.12	OK
0.45	0.36	67.5	54	8626.5	11250	696080.25	562500	1.24	OK	1.12	OK
0.45	0.35	67.5	52.5	8583.75	11250	679455	562500	1.21	OK	1.12	OK
0.45	0.34	67.5	51	8541	11250	663174	562500	1.18	OK	1.12	OK
0.45	0.33	67.5	49.5	8498.25	11250	647237.25	562500	1.15	OK	1.11	OK
0.45	0.32	67.5	48	8455.5	11250	631644.75	562500	1.12	OK	1.11	OK
0.45	0.31	67.5	46.5	8412.75	11250	616396.5	562500	1.10	OK	1.11	OK
0.45	0.3	67.5	45	8370	11250	601492.5	562500	1.07	OK	1.11	OK
0.45	0.29	67.5	43.5	8327.25	11250	586932.75	562500	1.04	NOK	1.10	OK
0.45	0.28	67.5	42	8284.5	11250	572717.25	562500	1.02	NOK	1.10	OK
0.45	0.27	67.5	40.5	8241.75	11250	558846	562500	0.99	NOK	1.10	NOK
0.45	0.26	67.5	39	8199	11250	545319	562500	0.97	NOK	1.10	NOK
0.45	0.25	67.5	37.5	8156.25	11250	532136.25	562500	0.95	NOK	1.10	NOK
0.45	0.24	67.5	36	8113.5	11250	519297.75	562500	0.92	NOK	1.09	NOK
0.45	0.23	67.5	34.5	8070.75	11250	506803.5	562500	0.90	NOK	1.09	NOK
0.45	0.22	67.5	33	8028	11250	494653.5	562500	0.88	NOK	1.09	NOK
0.45	0.21	67.5	31.5	7985.25	11250	482847.75	562500	0.86	NOK	1.09	NOK
0.45	0.2	67.5	30	7942.5	11250	471386.25	562500	0.84	NOK	1.08	NOK

Tabel 4.2 Nilai SF Setiap Faktor Kemiringan Lereng Kondisi Normal  $h = 125$  m

Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak		Gaya		Momen		SF berdasar Guling		SF berdasar Geser	
		Horizontal(J1) ( m )	Horizontal(J2) ( m )	Vertikal ( t )	Horizontal ( t )	Vertikal ( tm )	Horizontal ( tm )				
0.45	0.54	56.25	67.5	6525	7812.5	610087.5	325520.83	1.87	OK	1.29	OK
0.45	0.53	56.25	66.25	6495.31	7812.5	596880.47	325520.83	1.83	OK	1.29	OK
0.45	0.52	56.25	65	6465.63	7812.5	583872.66	325520.83	1.79	OK	1.29	OK
0.45	0.51	56.25	63.75	6435.94	7812.5	571064.06	325520.83	1.75	OK	1.29	OK
0.45	0.5	56.25	62.5	6406.25	7812.5	558454.69	325520.83	1.72	OK	1.28	OK
0.45	0.49	56.25	61.25	6376.56	7812.5	546044.53	325520.83	1.68	OK	1.28	OK
0.45	0.48	56.25	60	6346.88	7812.5	533833.59	325520.83	1.64	OK	1.28	OK
0.45	0.47	56.25	58.75	6317.19	7812.5	521821.88	325520.83	1.60	OK	1.28	OK
0.45	0.46	56.25	57.5	6287.5	7812.5	510009.38	325520.83	1.57	OK	1.27	OK
0.45	0.45	56.25	56.25	6257.81	7812.5	498396.09	325520.83	1.53	OK	1.27	OK
0.45	0.44	56.25	55	6228.13	7812.5	486982.03	325520.83	1.50	OK	1.27	OK
0.45	0.43	56.25	53.75	6198.44	7812.5	475767.19	325520.83	1.46	OK	1.27	OK
0.45	0.42	56.25	52.5	6168.75	7812.5	464751.56	325520.83	1.43	OK	1.27	OK
0.45	0.41	56.25	51.25	6139.06	7812.5	453935.16	325520.83	1.39	OK	1.26	OK
0.45	0.4	56.25	50	6109.38	7812.5	443317.97	325520.83	1.36	OK	1.26	OK
0.45	0.39	56.25	48.75	6079.69	7812.5	432900	325520.83	1.33	OK	1.26	OK
0.45	0.38	56.25	47.5	6050	7812.5	422681.25	325520.83	1.30	OK	1.26	OK
0.45	0.37	56.25	46.25	6020.31	7812.5	412661.72	325520.83	1.27	OK	1.25	OK
0.45	0.36	56.25	45	5990.63	7812.5	402841.41	325520.83	1.24	OK	1.25	OK
0.45	0.35	56.25	43.75	5960.94	7812.5	393220.31	325520.83	1.21	OK	1.25	OK
0.45	0.34	56.25	42.5	5931.25	7812.5	383798.44	325520.83	1.18	OK	1.25	OK
0.45	0.33	56.25	41.25	5901.56	7812.5	374575.78	325520.83	1.15	OK	1.25	OK
0.45	0.32	56.25	40	5871.88	7812.5	365552.34	325520.83	1.12	OK	1.24	OK
0.45	0.31	56.25	38.75	5842.19	7812.5	356728.13	325520.83	1.10	OK	1.24	OK
0.45	0.3	56.25	37.5	5812.5	7812.5	348103.13	325520.83	1.07	OK	1.24	OK
0.45	0.29	56.25	36.25	5782.81	7812.5	339677.34	325520.83	1.04	NOK	1.24	OK
0.45	0.28	56.25	35	5753.13	7812.5	331450.78	325520.83	1.02	NOK	1.23	OK
0.45	0.27	56.25	33.75	5723.44	7812.5	323423.44	325520.83	0.99	NOK	1.23	OK
0.45	0.26	56.25	32.5	5693.75	7812.5	315595.31	325520.83	0.97	NOK	1.23	OK
0.45	0.25	56.25	31.25	5664.06	7812.5	307966.41	325520.83	0.95	NOK	1.23	OK
0.45	0.24	56.25	30	5634.38	7812.5	300536.72	325520.83	0.92	NOK	1.22	OK
0.45	0.23	56.25	28.75	5604.69	7812.5	293306.25	325520.83	0.90	NOK	1.22	OK
0.45	0.22	56.25	27.5	5575	7812.5	286275	325520.83	0.88	NOK	1.22	OK
0.45	0.21	56.25	26.25	5545.31	7812.5	279442.97	325520.83	0.86	NOK	1.22	OK
0.45	0.2	56.25	25	5515.63	7812.5	272810.16	325520.83	0.84	NOK	1.22	OK



Tabel 4.3 Nilai SF Setiap Faktor Kemiringan Lereng Kondisi Normal  $h = 100$  m

Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak		Gaya		Momen		SF berdasar		SF berdasar	
		Horizontal(J1) ( m )	Horizontal(J2) ( m )	Vertikal ( t )	Horizontal ( t )	Vertikal ( tm )	Horizontal ( tm )	Guling		Geser	
0.45	0.54	45	54	4176	5000	312381	166666.67	1.87	OK	1.49	OK
0.45	0.53	45	53	4157	5000	305619	166666.67	1.83	OK	1.49	OK
0.45	0.52	45	52	4138	5000	298959	166666.67	1.79	OK	1.49	OK
0.45	0.51	45	51	4119	5000	292401	166666.67	1.75	OK	1.48	OK
0.45	0.5	45	50	4100	5000	285945	166666.67	1.72	OK	1.48	OK
0.45	0.49	45	49	4081	5000	279591	166666.67	1.68	OK	1.48	OK
0.45	0.48	45	48	4062	5000	273339	166666.67	1.64	OK	1.48	OK
0.45	0.47	45	47	4043	5000	267189	166666.67	1.60	OK	1.48	OK
0.45	0.46	45	46	4024	5000	261141	166666.67	1.57	OK	1.47	OK
0.45	0.45	45	45	4005	5000	255195	166666.67	1.53	OK	1.47	OK
0.45	0.44	45	44	3986	5000	249351	166666.67	1.50	OK	1.47	OK
0.45	0.43	45	43	3967	5000	243609	166666.67	1.46	OK	1.47	OK
0.45	0.42	45	42	3948	5000	237969	166666.67	1.43	OK	1.46	OK
0.45	0.41	45	41	3929	5000	232431	166666.67	1.39	OK	1.46	OK
0.45	0.4	45	40	3910	5000	226995	166666.67	1.36	OK	1.46	OK
0.45	0.39	45	39	3891	5000	221661	166666.67	1.33	OK	1.46	OK
0.45	0.38	45	38	3872	5000	216429	166666.67	1.30	OK	1.45	OK
0.45	0.37	45	37	3853	5000	211299	166666.67	1.27	OK	1.45	OK
0.45	0.36	45	36	3834	5000	206271	166666.67	1.24	OK	1.45	OK
0.45	0.35	45	35	3815	5000	201345	166666.67	1.21	OK	1.45	OK
0.45	0.34	45	34	3796	5000	196521	166666.67	1.18	OK	1.45	OK
0.45	0.33	45	33	3777	5000	191799	166666.67	1.15	OK	1.44	OK
0.45	0.32	45	32	3758	5000	187179	166666.67	1.12	OK	1.44	OK
0.45	0.31	45	31	3739	5000	182661	166666.67	1.10	OK	1.44	OK
0.45	0.3	45	30	3720	5000	178245	166666.67	1.07	OK	1.44	OK
0.45	0.29	45	29	3701	5000	173931	166666.67	1.04	NOK	1.43	OK
0.45	0.28	45	28	3682	5000	169719	166666.67	1.02	NOK	1.43	OK
0.45	0.27	45	27	3663	5000	165609	166666.67	0.99	NOK	1.43	OK
0.45	0.26	45	26	3644	5000	161601	166666.67	0.97	NOK	1.43	OK
0.45	0.25	45	25	3625	5000	157695	166666.67	0.95	NOK	1.43	OK
0.45	0.24	45	24	3606	5000	153891	166666.67	0.92	NOK	1.42	OK
0.45	0.23	45	23	3587	5000	150189	166666.67	0.90	NOK	1.42	OK
0.45	0.22	45	22	3568	5000	146589	166666.67	0.88	NOK	1.42	OK
0.45	0.21	45	21	3549	5000	143091	166666.67	0.86	NOK	1.42	OK
0.45	0.2	45	20	3530	5000	139695	166666.67	0.84	NOK	1.41	OK

Tabel 4.4 Nilai SF Setiap Faktor Kemiringan Lereng Kondisi Normal  $h = 75$  m

Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak		Gaya		Momen		SF berdasar		SF berdasar	
		Horizontal(J1) ( m )	Horizontal(J2) ( m )	Vertikal ( t )	Horizontal ( t )	Vertikal ( tm )	Horizontal ( tm )	Guling		Geser	
0.45	0.54	33.75	40.5	2349	2812.5	131800.5	70312.5	1.87	OK	1.82	OK
0.45	0.53	33.75	39.75	2338.31	2812.5	128947.78	70312.5	1.83	OK	1.82	OK
0.45	0.52	33.75	39	2327.63	2812.5	126138.09	70312.5	1.79	OK	1.82	OK
0.45	0.51	33.75	38.25	2316.94	2812.5	123371.44	70312.5	1.75	OK	1.81	OK
0.45	0.5	33.75	37.5	2306.25	2812.5	120647.81	70312.5	1.72	OK	1.81	OK
0.45	0.49	33.75	36.75	2295.56	2812.5	117967.22	70312.5	1.68	OK	1.81	OK
0.45	0.48	33.75	36	2284.88	2812.5	115329.66	70312.5	1.64	OK	1.81	OK
0.45	0.47	33.75	35.25	2274.19	2812.5	112735.13	70312.5	1.60	OK	1.81	OK
0.45	0.46	33.75	34.5	2263.5	2812.5	110183.63	70312.5	1.57	OK	1.80	OK
0.45	0.45	33.75	33.75	2252.81	2812.5	107675.16	70312.5	1.53	OK	1.80	OK
0.45	0.44	33.75	33	2242.13	2812.5	105209.72	70312.5	1.50	OK	1.80	OK
0.45	0.43	33.75	32.25	2231.44	2812.5	102787.31	70312.5	1.46	OK	1.80	OK
0.45	0.42	33.75	31.5	2220.75	2812.5	100407.94	70312.5	1.43	OK	1.79	OK
0.45	0.41	33.75	30.75	2210.06	2812.5	98071.594	70312.5	1.39	OK	1.79	OK
0.45	0.4	33.75	30	2199.38	2812.5	95778.281	70312.5	1.36	OK	1.79	OK
0.45	0.39	33.75	29.25	2188.69	2812.5	93528	70312.5	1.33	OK	1.79	OK
0.45	0.38	33.75	28.5	2178	2812.5	91320.75	70312.5	1.30	OK	1.78	OK
0.45	0.37	33.75	27.75	2167.31	2812.5	89156.531	70312.5	1.27	OK	1.78	OK
0.45	0.36	33.75	27	2156.63	2812.5	87035.344	70312.5	1.24	OK	1.78	OK
0.45	0.35	33.75	26.25	2145.94	2812.5	84957.188	70312.5	1.21	OK	1.78	OK
0.45	0.34	33.75	25.5	2135.25	2812.5	82922.063	70312.5	1.18	OK	1.78	OK
0.45	0.33	33.75	24.75	2124.56	2812.5	80929.969	70312.5	1.15	OK	1.77	OK
0.45	0.32	33.75	24	2113.88	2812.5	78980.906	70312.5	1.12	OK	1.77	OK
0.45	0.31	33.75	23.25	2103.19	2812.5	77074.875	70312.5	1.10	OK	1.77	OK
0.45	0.3	33.75	22.5	2092.5	2812.5	75211.875	70312.5	1.07	OK	1.77	OK
0.45	0.29	33.75	21.75	2081.81	2812.5	73391.906	70312.5	1.04	NOK	1.76	OK
0.45	0.28	33.75	21	2071.13	2812.5	71614.969	70312.5	1.02	NOK	1.76	OK
0.45	0.27	33.75	20.25	2060.44	2812.5	69881.063	70312.5	0.99	NOK	1.76	OK
0.45	0.26	33.75	19.5	2049.75	2812.5	68190.188	70312.5	0.97	NOK	1.76	OK
0.45	0.25	33.75	18.75	2039.06	2812.5	66542.344	70312.5	0.95	NOK	1.76	OK
0.45	0.24	33.75	18	2028.38	2812.5	64937.531	70312.5	0.92	NOK	1.75	OK
0.45	0.23	33.75	17.25	2017.69	2812.5	63375.75	70312.5	0.90	NOK	1.75	OK
0.45	0.22	33.75	16.5	2007	2812.5	61857	70312.5	0.88	NOK	1.75	OK
0.45	0.21	33.75	15.75	1996.31	2812.5	60381.281	70312.5	0.86	NOK	1.75	OK
0.45	0.2	33.75	15	1985.63	2812.5	58948.594	70312.5	0.84	NOK	1.74	OK



Tabel 4.5 Nilai SF Setiap Faktor Kemiringan Lereng Kondisi Normal  $h = 50$  m

Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak Horizontal(J1) ( m )	Jarak Horizontal(J2) ( m )	Gaya Vertikal ( t )	Gaya Horizontal ( t )	Momen Vertikal ( tm )	Momen Horizontal ( tm )	SF berdasar			
								Guling	Geser		
0.45	0.54	22.5	27	1044	1250	39064.5	20833.333	1.88	OK	2.48	OK
0.45	0.53	22.5	26.5	1039.25	1250	38219.25	20833.333	1.83	OK	2.48	OK
0.45	0.52	22.5	26	1034.5	1250	37386.75	20833.333	1.79	OK	2.48	OK
0.45	0.51	22.5	25.5	1029.75	1250	36567	20833.333	1.76	OK	2.47	OK
0.45	0.5	22.5	25	1025	1250	35760	20833.333	1.72	OK	2.47	OK
0.45	0.49	22.5	24.5	1020.25	1250	34965.75	20833.333	1.68	OK	2.47	OK
0.45	0.48	22.5	24	1015.5	1250	34184.25	20833.333	1.64	OK	2.47	OK
0.45	0.47	22.5	23.5	1010.75	1250	33415.5	20833.333	1.60	OK	2.47	OK
0.45	0.46	22.5	23	1006	1250	32659.5	20833.333	1.57	OK	2.46	OK
0.45	0.45	22.5	22.5	1001.25	1250	31916.25	20833.333	1.53	OK	2.46	OK
0.45	0.44	22.5	22	996.5	1250	31185.75	20833.333	1.50	OK	2.46	OK
0.45	0.43	22.5	21.5	991.75	1250	30468	20833.333	1.46	OK	2.46	OK
0.45	0.42	22.5	21	987	1250	29763	20833.333	1.43	OK	2.45	OK
0.45	0.41	22.5	20.5	982.25	1250	29070.75	20833.333	1.40	OK	2.45	OK
0.45	0.4	22.5	20	977.5	1250	28391.25	20833.333	1.36	OK	2.45	OK
0.45	0.39	22.5	19.5	972.75	1250	27724.5	20833.333	1.33	OK	2.45	OK
0.45	0.38	22.5	19	968	1250	27070.5	20833.333	1.30	OK	2.44	OK
0.45	0.37	22.5	18.5	963.25	1250	26429.25	20833.333	1.27	OK	2.44	OK
0.45	0.36	22.5	18	958.5	1250	25800.75	20833.333	1.24	OK	2.44	OK
0.45	0.35	22.5	17.5	953.75	1250	25185	20833.333	1.21	OK	2.44	OK
0.45	0.34	22.5	17	949	1250	24582	20833.333	1.18	OK	2.44	OK
0.45	0.33	22.5	16.5	944.25	1250	23991.75	20833.333	1.15	OK	2.43	OK
0.45	0.32	22.5	16	939.5	1250	23414.25	20833.333	1.12	OK	2.43	OK
0.45	0.31	22.5	15.5	934.75	1250	22849.5	20833.333	1.10	OK	2.43	OK
0.45	0.3	22.5	15	930	1250	22297.5	20833.333	1.07	OK	2.43	OK
0.45	0.29	22.5	14.5	925.25	1250	21758.25	20833.333	1.04	NOK	2.42	OK
0.45	0.28	22.5	14	920.5	1250	21231.75	20833.333	1.02	NOK	2.42	OK
0.45	0.27	22.5	13.5	915.75	1250	20718	20833.333	0.99	NOK	2.42	OK
0.45	0.26	22.5	13	911	1250	20217	20833.333	0.97	NOK	2.42	OK
0.45	0.25	22.5	12.5	906.25	1250	19728.75	20833.333	0.95	NOK	2.42	OK
0.45	0.24	22.5	12	901.5	1250	19253.25	20833.333	0.92	NOK	2.41	OK
0.45	0.23	22.5	11.5	896.75	1250	18790.5	20833.333	0.90	NOK	2.41	OK
0.45	0.22	22.5	11	892	1250	18340.5	20833.333	0.88	NOK	2.41	OK
0.45	0.21	22.5	10.5	887.25	1250	17903.25	20833.333	0.86	NOK	2.41	OK
0.45	0.2	22.5	10	882.5	1250	17478.75	20833.333	0.84	NOK	2.40	OK



Tabel 4.6 Nilai SF Setiap Faktor Kemiringan Lereng Kondisi Normal  $h = 25$  m

Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak Horizontal(J1) ( m )	Jarak Horizontal(J2) ( m )	Gaya Vertikal ( t )	Gaya Horizontal ( t )	Momen Vertikal ( tm )	Momen Horizontal ( tm )	SF berdasar			
								Guling	Geser		
0.45	0.54	11.25	13.5	261	312.5	4891.5	2604.1667	1.88	OK	4.46	OK
0.45	0.53	11.25	13.25	259.813	312.5	4785.8438	2604.1667	1.84	OK	4.46	OK
0.45	0.52	11.25	13	258.625	312.5	4681.7813	2604.1667	1.80	OK	4.46	OK
0.45	0.51	11.25	12.75	257.438	312.5	4579.3125	2604.1667	1.76	OK	4.45	OK
0.45	0.5	11.25	12.5	256.25	312.5	4478.4375	2604.1667	1.72	OK	4.45	OK
0.45	0.49	11.25	12.25	255.063	312.5	4379.1563	2604.1667	1.68	OK	4.45	OK
0.45	0.48	11.25	12	253.875	312.5	4281.4688	2604.1667	1.64	OK	4.45	OK
0.45	0.47	11.25	11.75	252.688	312.5	4185.375	2604.1667	1.61	OK	4.45	OK
0.45	0.46	11.25	11.5	251.5	312.5	4090.875	2604.1667	1.57	OK	4.44	OK
0.45	0.45	11.25	11.25	250.313	312.5	3997.9688	2604.1667	1.54	OK	4.44	OK
0.45	0.44	11.25	11	249.125	312.5	3906.6563	2604.1667	1.50	OK	4.44	OK
0.45	0.43	11.25	10.75	247.938	312.5	3816.9375	2604.1667	1.47	OK	4.44	OK
0.45	0.42	11.25	10.5	246.75	312.5	3728.8125	2604.1667	1.43	OK	4.43	OK
0.45	0.41	11.25	10.25	245.563	312.5	3642.2813	2604.1667	1.40	OK	4.43	OK
0.45	0.4	11.25	10	244.375	312.5	3557.3438	2604.1667	1.37	OK	4.43	OK
0.45	0.39	11.25	9.75	243.188	312.5	3474	2604.1667	1.33	OK	4.43	OK
0.45	0.38	11.25	9.5	242	312.5	3392.25	2604.1667	1.30	OK	4.42	OK
0.45	0.37	11.25	9.25	240.813	312.5	3312.0938	2604.1667	1.27	OK	4.42	OK
0.45	0.36	11.25	9	239.625	312.5	3233.5313	2604.1667	1.24	OK	4.42	OK
0.45	0.35	11.25	8.75	238.438	312.5	3156.5625	2604.1667	1.21	OK	4.42	OK
0.45	0.34	11.25	8.5	237.25	312.5	3081.1875	2604.1667	1.18	OK	4.42	OK
0.45	0.33	11.25	8.25	236.063	312.5	3007.4063	2604.1667	1.15	OK	4.41	OK
0.45	0.32	11.25	8	234.875	312.5	2935.2188	2604.1667	1.13	OK	4.41	OK
0.45	0.31	11.25	7.75	233.688	312.5	2864.625	2604.1667	1.10	OK	4.41	OK
0.45	0.3	11.25	7.5	232.5	312.5	2795.625	2604.1667	1.07	OK	4.41	OK
0.45	0.29	11.25	7.25	231.313	312.5	2728.2188	2604.1667	1.05	NOK	4.40	OK
0.45	0.28	11.25	7	230.125	312.5	2662.4063	2604.1667	1.02	NOK	4.40	OK
0.45	0.27	11.25	6.75	228.938	312.5	2598.1875	2604.1667	1.00	NOK	4.40	OK
0.45	0.26	11.25	6.5	227.75	312.5	2535.5625	2604.1667	0.97	NOK	4.40	OK
0.45	0.25	11.25	6.25	226.563	312.5	2474.5313	2604.1667	0.95	NOK	4.40	OK
0.45	0.24	11.25	6	225.375	312.5	2415.0938	2604.1667	0.93	NOK	4.39	OK
0.45	0.23	11.25	5.75	224.188	312.5	2357.25	2604.1667	0.91	NOK	4.39	OK
0.45	0.22	11.25	5.5	223	312.5	2301	2604.1667	0.88	NOK	4.39	OK
0.45	0.21	11.25	5.25	221.813	312.5	2246.3438	2604.1667	0.86	NOK	4.39	OK
0.45	0.2	11.25	5	220.625	312.5	2193.2813	2604.1667	0.84	NOK	4.38	OK

Catatan :

- Pada ketinggian 0 – 25 m, dapat menggunakan kemiringan lereng di hilir = 0,45 dan kemiringan lereng di hulu = 0,30
- Pada ketinggian 0 – 50 m, dapat menggunakan kemiringan lereng di hilir = 0,45 dan kemiringan lereng di hulu = 0,30
- Pada ketinggian 0 – 75 m, dapat menggunakan kemiringan lereng di hilir = 0,45 dan kemiringan lereng di hulu = 0,30
- Pada ketinggian 0 – 100 m, dapat menggunakan kemiringan lereng di hilir = 0,45 dan kemiringan lereng di hulu = 0,30
- Pada ketinggian 0 – 125 m, dapat menggunakan kemiringan lereng di hilir = 0,45 dan kemiringan lereng di hulu = 0,30
- Pada ketinggian 0 – 150 m, dapat menggunakan kemiringan lereng di hilir = 0,45 dan kemiringan lereng di hulu = 0,30

### 4.2.3 Perhitungan Stabilitas Berdasar Guling dan Geser Dalam Kondisi Gempa

Stabilitas bendungan terhadap guling pada keadaan gempa dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

- Gaya horizontal bangunan akibat gempa

$$\begin{aligned} h_e \text{ bangunan (gempa)} &= (V_1 + V_2) \times e \\ &= (1,2j_1h^2 + 0,53j_2h^2) \times 0,15 \\ &= (0,18j_1h^2 + 0,08j_2h^2) \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_H \text{ bangunan (gempa)} &= h_e \text{ bangunan (gempa)} \times h/3 \\ &= (0,18j_1h^2 + 0,08j_2h^2) \times h/3 \\ &= (0,06j_1h^3 + 0,03j_2h^3) \text{ ton meter} \end{aligned}$$

- Gaya horizontal tekanan air statis akibat gempa

$$\begin{aligned} h_e \text{ statis (gempa)} &= (P_w \text{ vertikal(I)} + P_w \text{ vertikal(II)}) \times e \\ &= (0,22j_2h^2 + 0,2j_2h^2) \times 0,15 \\ &= 0,44j_2h^2 \times 0,15 \\ &= 0,07j_2h^2 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_H \text{ statis I (gempa)} &= h_e \text{ statis (gempa)} \times 0,5 \times 1/3h + (h - 1/3h) \\ &= 0,07j_2h^2 \times 0,17h + 0,67h \\ &= 0,07j_2h^2 \times 0,84h \\ &= 0,06j_2h^3 \text{ ton meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_H \text{ statis II (gempa)} &= h_e \text{ statis (gempa)} \times 2/3 \times h - 1/3h \\ &= 0,07j_2h^2 \times 0,33h \\ &= 0,02j_2h^3 \text{ ton meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_H \text{ total} &= M_H \text{ gempa} + M_H \text{ statis I (gempa)} + M_H \text{ statis II (gempa)} \\ &= 0,06j_1h^3 + 0,03j_2h^3 + 0,06j_2h^3 + 0,02j_2h^3 \\ &= (0,06j_1h^3 + 0,11j_2h^3) \text{ ton meter} \end{aligned}$$

$$SF_1 = \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H}$$

$$1 = \frac{(M_V + MP_{w \text{ vertikal}} - MP_u)}{(MP_{w \text{ horizontal}} + MP_d + M_H \text{ gempa})}$$

$$1 = \frac{(0,8j_1^2h^3 + (0,12j_2^2h^3 + 0,53j_1j_2h^3)) + (0,44j_2^2h^3 + 0,22j_1j_2h^3 + 0,1j_2^2h^3 + j_1h)}{\frac{h^3}{6} + 0,04h^3 + (0,06j_1h^3 + 0,11j_2h^3)}$$



$$- (0,34j_1^2 h^3 + 0,46j_1 j_2 h^3 + 0,15j_2^2 h^3)$$

$$1 = \frac{(0,8 \cdot 0,45^2 h^3 + (0,12j_2^2 h^3 + 0,53 \cdot 0,45j_2 h^3)) + (0,44j_2^2 h^3 + 0,22 \cdot 0,45j_2 h^3 + 0,1j_2^2 h^3 + 0,45h)}{\frac{h^3}{6} + 0,04h^3 + (0,06 \cdot 0,45h^3 + 0,11j_2 h^3)} - (0,34 \cdot 0,45^2 h^3 + 0,46 \cdot 0,45j_2 h^3 + 0,15j_2^2 h^3)$$

$$1 = \frac{1721250j_2^2 + 391500j_2 + 248460}{361125j_2 + 757575}$$

$$1721250j_2^2 + 30375j_2 - 509115 = 0$$

$$j_2 = 0,54 \text{ atau}$$

$$j_2 = -0,55$$

Stabilitas bendungan terhadap geser pada keadaan gempa dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$SF_2 = \frac{f\Sigma(V-u) + C \times A}{\Sigma H}$$

$$1,05 = \frac{f\Sigma(V-u) + C \times A}{(P_{w \text{ horizontal}} + P_d + H_e \text{ gempa})}$$

$$1,05 = \frac{0,6((1,2j_1 h^2 + 0,53j_2 h^2) - (0,5j_1 h^2 + 0,34j_2 h^2)) + (110(j_1 h + j_2 h))}{0,5h^2 + 0,09h^2 + (0,18j_1 h^2 + 0,08j_2 h^2)}$$

$$1,05 = \frac{0,6((1,2 \cdot 0,45h^2 + 0,53j_2 h^2) - (0,5 \cdot 0,45h^2 + 0,34j_2 h^2)) + (110 \cdot 0,45h + 110j_2 h)}{\frac{h^2}{2} + 0,09h^2 + (0,18 \cdot 0,45h^2 + 0,08j_2 h^2)}$$

$$1,05 = \frac{6156 + 7155j_2 - 2565 - 4590j_2 + 6270 + 16500j_2}{11250 + 1968,75 + 1620 + 1800j_2}$$

$$1,05 = \frac{19065j_2 + 9861}{1800j_2 + 14838,75}$$

$$1890j_2 + 15580,69 = 19065j_2 + 9861$$

$$j_2 = 0,33$$



Tabel 4.7 Nilai SF Setiap Faktor Kemiringan Lereng Kondisi Gempa  $h = 150$  m

Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak		Gaya		Momen		SF berdasar			
		Horizontal(J1) ( m )	Horizontal(J2) ( m )	Vertikal ( t )	Horizontal ( t )	Vertikal ( tm )	Horizontal ( tm )	Guling	Geser		
0.45	0.54	67.5	81	9396	16013.25	1054201.5	966757.5	1.09	OK	0.82	NOK
0.45	0.53	67.5	79.5	9353.25	15995.25	1031379.8	963146.25	1.07	OK	0.82	NOK
0.45	0.52	67.5	78	9310.5	15977.25	1008902.3	959535	1.05	OK	0.81	NOK
0.45	0.51	67.5	76.5	9267.75	15959.25	986769	955923.75	1.03	OK	0.81	NOK
0.45	0.5	67.5	75	9225	15941.25	964980	952312.5	1.01	OK	0.81	NOK
0.45	0.49	67.5	73.5	9182.25	15923.25	943535.25	948701.25	0.99	NOK	0.81	NOK
0.45	0.48	67.5	72	9139.5	15905.25	922434.75	945090	0.98	NOK	0.81	NOK
0.45	0.47	67.5	70.5	9096.75	15887.25	901678.5	941478.75	0.96	NOK	0.81	NOK
0.45	0.46	67.5	69	9054	15869.25	881266.5	937867.5	0.94	NOK	0.81	NOK
0.45	0.45	67.5	67.5	9011.25	15851.25	861198.75	934256.25	0.92	NOK	0.81	NOK
0.45	0.44	67.5	66	8968.5	15833.25	841475.25	930645	0.90	NOK	0.81	NOK
0.45	0.43	67.5	64.5	8925.75	15815.25	822096	927033.75	0.89	NOK	0.81	NOK
0.45	0.42	67.5	63	8883	15797.25	803061	923422.5	0.87	NOK	0.81	NOK
0.45	0.41	67.5	61.5	8840.25	15779.25	784370.25	919811.25	0.85	NOK	0.81	NOK
0.45	0.4	67.5	60	8797.5	15761.25	766023.75	916200	0.84	NOK	0.81	NOK
0.45	0.39	67.5	58.5	8754.75	15743.25	748021.5	912588.75	0.82	NOK	0.81	NOK
0.45	0.38	67.5	57	8712	15725.25	730363.5	908977.5	0.80	NOK	0.80	NOK
0.45	0.37	67.5	55.5	8669.25	15707.25	713049.75	905366.25	0.79	NOK	0.80	NOK
0.45	0.36	67.5	54	8626.5	15689.25	696080.25	901755	0.77	NOK	0.80	NOK
0.45	0.35	67.5	52.5	8583.75	15671.25	679455	898143.75	0.76	NOK	0.80	NOK
0.45	0.34	67.5	51	8541	15653.25	663174	894532.5	0.74	NOK	0.80	NOK
0.45	0.33	67.5	49.5	8498.25	15635.25	647237.25	890921.25	0.73	NOK	0.80	NOK
0.45	0.32	67.5	48	8455.5	15617.25	631644.75	887310	0.71	NOK	0.80	NOK
0.45	0.31	67.5	46.5	8412.75	15599.25	616396.5	883698.75	0.70	NOK	0.80	NOK
0.45	0.3	67.5	45	8370	15581.25	601492.5	880087.5	0.68	NOK	0.80	NOK
0.45	0.29	67.5	43.5	8327.25	15563.25	586932.75	876476.25	0.67	NOK	0.80	NOK
0.45	0.28	67.5	42	8284.5	15545.25	572717.25	872865	0.66	NOK	0.80	NOK
0.45	0.27	67.5	40.5	8241.75	15527.25	558846	869253.75	0.64	NOK	0.80	NOK
0.45	0.26	67.5	39	8199	15509.25	545319	865642.5	0.63	NOK	0.80	NOK
0.45	0.25	67.5	37.5	8156.25	15491.25	532136.25	862031.25	0.62	NOK	0.80	NOK
0.45	0.24	67.5	36	8113.5	15473.25	519297.75	858420	0.60	NOK	0.79	NOK
0.45	0.23	67.5	34.5	8070.75	15455.25	506803.5	854808.75	0.59	NOK	0.79	NOK
0.45	0.22	67.5	33	8028	15437.25	494653.5	851197.5	0.58	NOK	0.79	NOK
0.45	0.21	67.5	31.5	7985.25	15419.25	482847.75	847586.25	0.57	NOK	0.79	NOK
0.45	0.2	67.5	30	7942.5	15401.25	471386.25	843975	0.56	NOK	0.79	NOK

Tabel 4.8 Nilai SF Setiap Faktor Kemiringan Lereng Kondisi Gempa  $h = 125$  m

Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak		Gaya		Momen		SF berdasar			
		Horizontal(J1) ( m )	Horizontal(J2) ( m )	Vertikal ( t )	Horizontal ( t )	Vertikal ( tm )	Horizontal ( tm )	Guling	Geser		
0.45	0.54	56.25	67.5	6525	11120.31	610087.5	559466.15	1.09	OK	0.91	NOK
0.45	0.53	56.25	66.25	6495.31	11107.81	596880.47	557376.3	1.07	OK	0.91	NOK
0.45	0.52	56.25	65	6465.63	11095.31	583872.66	555286.46	1.05	OK	0.91	NOK
0.45	0.51	56.25	63.75	6435.94	11082.81	571064.06	553196.61	1.03	OK	0.91	NOK
0.45	0.5	56.25	62.5	6406.25	11070.31	558454.69	551106.77	1.01	OK	0.91	NOK
0.45	0.49	56.25	61.25	6376.56	11057.81	546044.53	549016.93	0.99	NOK	0.91	NOK
0.45	0.48	56.25	60	6346.88	11045.31	533833.59	546927.08	0.98	NOK	0.90	NOK
0.45	0.47	56.25	58.75	6317.19	11032.81	521821.88	544837.24	0.96	NOK	0.90	NOK
0.45	0.46	56.25	57.5	6287.5	11020.31	510009.38	542747.4	0.94	NOK	0.90	NOK
0.45	0.45	56.25	56.25	6257.81	11007.81	498396.09	540657.55	0.92	NOK	0.90	NOK
0.45	0.44	56.25	55	6228.13	10995.31	486982.03	538567.71	0.90	NOK	0.90	NOK
0.45	0.43	56.25	53.75	6198.44	10982.81	475767.19	536477.86	0.89	NOK	0.90	NOK
0.45	0.42	56.25	52.5	6168.75	10970.31	464751.56	534388.02	0.87	NOK	0.90	NOK
0.45	0.41	56.25	51.25	6139.06	10957.81	453935.16	532298.18	0.85	NOK	0.90	NOK
0.45	0.4	56.25	50	6109.38	10945.31	443317.97	530208.33	0.84	NOK	0.90	NOK
0.45	0.39	56.25	48.75	6079.69	10932.81	432900	528118.49	0.82	NOK	0.90	NOK
0.45	0.38	56.25	47.5	6050	10920.31	422681.25	526028.65	0.80	NOK	0.90	NOK
0.45	0.37	56.25	46.25	6020.31	10907.81	412661.72	523938.8	0.79	NOK	0.90	NOK
0.45	0.36	56.25	45	5990.63	10895.31	402841.41	521848.96	0.77	NOK	0.90	NOK
0.45	0.35	56.25	43.75	5960.94	10882.81	393220.31	519759.11	0.76	NOK	0.90	NOK
0.45	0.34	56.25	42.5	5931.25	10870.31	383798.44	517669.27	0.74	NOK	0.90	NOK
0.45	0.33	56.25	41.25	5901.56	10857.81	374575.78	515579.43	0.73	NOK	0.90	NOK
0.45	0.32	56.25	40	5871.88	10845.31	365552.34	513489.58	0.71	NOK	0.90	NOK
0.45	0.31	56.25	38.75	5842.19	10832.81	356728.13	511399.74	0.70	NOK	0.89	NOK
0.45	0.3	56.25	37.5	5812.5	10820.31	348103.13	509309.9	0.68	NOK	0.89	NOK
0.45	0.29	56.25	36.25	5782.81	10807.81	339677.34	507220.05	0.67	NOK	0.89	NOK
0.45	0.28	56.25	35	5753.13	10795.31	331450.78	505130.21	0.66	NOK	0.89	NOK
0.45	0.27	56.25	33.75	5723.44	10782.81	323423.44	503040.36	0.64	NOK	0.89	NOK
0.45	0.26	56.25	32.5	5693.75	10770.31	315595.31	500950.52	0.63	NOK	0.89	NOK
0.45	0.25	56.25	31.25	5664.06	10757.81	307966.41	498860.68	0.62	NOK	0.89	NOK
0.45	0.24	56.25	30	5634.38	10745.31	300536.72	496770.83	0.60	NOK	0.89	NOK
0.45	0.23	56.25	28.75	5604.69	10732.81	293306.25	494680.99	0.59	NOK	0.89	NOK
0.45	0.22	56.25	27.5	5575	10720.31	286275	492591.15	0.58	NOK	0.89	NOK
0.45	0.21	56.25	26.25	5545.31	10707.81	279442.97	490501.3	0.57	NOK	0.89	NOK
0.45	0.2	56.25	25	5515.63	10695.31	272810.16	488411.46	0.56	NOK	0.89	NOK



Tabel 4.9 Nilai SF Setiap Faktor Kemiringan Lereng Kondisi Gempa  $h = 100$  m

Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak Horizontal(J1) ( m )	Jarak Horizontal(J2) ( m )	Gaya Vertikal ( t )	Gaya Horizontal ( t )	Momen Vertikal ( tm )	Momen Horizontal ( tm )	SF berdasar			
								Guling	Geser		
0.45	0.54	45	54	4176	7117.00	312381	286446.67	1.09	OK	1.05	NOK
0.45	0.53	45	53	4157	7109.00	305619	285376.67	1.07	OK	1.05	NOK
0.45	0.52	45	52	4138	7101.00	298959	284306.67	1.05	OK	1.05	NOK
0.45	0.51	45	51	4119	7093.00	292401	283236.67	1.03	OK	1.05	NOK
0.45	0.5	45	50	4100	7085.00	285945	282166.67	1.01	OK	1.05	NOK
0.45	0.49	45	49	4081	7077.00	279591	281096.67	0.99	NOK	1.05	NOK
0.45	0.48	45	48	4062	7069.00	273339	280026.67	0.98	NOK	1.05	NOK
0.45	0.47	45	47	4043	7061.00	267189	278956.67	0.96	NOK	1.04	NOK
0.45	0.46	45	46	4024	7053.00	261141	277886.67	0.94	NOK	1.04	NOK
0.45	0.45	45	45	4005	7045.00	255195	276816.67	0.92	NOK	1.04	NOK
0.45	0.44	45	44	3986	7037.00	249351	275746.67	0.90	NOK	1.04	NOK
0.45	0.43	45	43	3967	7029.00	243609	274676.67	0.89	NOK	1.04	NOK
0.45	0.42	45	42	3948	7021.00	237969	273606.67	0.87	NOK	1.04	NOK
0.45	0.41	45	41	3929	7013.00	232431	272536.67	0.85	NOK	1.04	NOK
0.45	0.4	45	40	3910	7005.00	226995	271466.67	0.84	NOK	1.04	NOK
0.45	0.39	45	39	3891	6997.00	221661	270396.67	0.82	NOK	1.04	NOK
0.45	0.38	45	38	3872	6989.00	216429	269326.67	0.80	NOK	1.04	NOK
0.45	0.37	45	37	3853	6981.00	211299	268256.67	0.79	NOK	1.04	NOK
0.45	0.36	45	36	3834	6973.00	206271	267186.67	0.77	NOK	1.04	NOK
0.45	0.35	45	35	3815	6965.00	201345	266116.67	0.76	NOK	1.04	NOK
0.45	0.34	45	34	3796	6957.00	196521	265046.67	0.74	NOK	1.04	NOK
0.45	0.33	45	33	3777	6949.00	191799	263976.67	0.73	NOK	1.04	NOK
0.45	0.32	45	32	3758	6941.00	187179	262906.67	0.71	NOK	1.04	NOK
0.45	0.31	45	31	3739	6933.00	182661	261836.67	0.70	NOK	1.04	NOK
0.45	0.3	45	30	3720	6925.00	178245	260766.67	0.68	NOK	1.04	NOK
0.45	0.29	45	29	3701	6917.00	173931	259696.67	0.67	NOK	1.04	NOK
0.45	0.28	45	28	3682	6909.00	169719	258626.67	0.66	NOK	1.04	NOK
0.45	0.27	45	27	3663	6901.00	165609	257556.67	0.64	NOK	1.04	NOK
0.45	0.26	45	26	3644	6893.00	161601	256486.67	0.63	NOK	1.04	NOK
0.45	0.25	45	25	3625	6885.00	157695	255416.67	0.62	NOK	1.03	NOK
0.45	0.24	45	24	3606	6877.00	153891	254346.67	0.61	NOK	1.03	NOK
0.45	0.23	45	23	3587	6869.00	150189	253276.67	0.59	NOK	1.03	NOK
0.45	0.22	45	22	3568	6861.00	146589	252206.67	0.58	NOK	1.03	NOK
0.45	0.21	45	21	3549	6853.00	143091	251136.67	0.57	NOK	1.03	NOK
0.45	0.2	45	20	3530	6845.00	139695	250066.67	0.56	NOK	1.03	NOK



Tabel 4.10 Nilai SF Setiap Faktor Kemiringan Lereng Kondisi Gempa  $h = 75$  m

Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak Horizontal(J1) ( m )	Jarak Horizontal(J2) ( m )	Gaya Vertikal ( t )	Gaya Horizontal ( t )	Momen Vertikal ( tm )	Momen Horizontal ( tm )	SF berdasar			
								Guling	Geser		
0.45	0.54	33.75	40.5	2349	4003.31	131800.5	120844.69	1.09	OK	1.28	OK
0.45	0.53	33.75	39.75	2338.31	3998.81	128947.78	120393.28	1.07	OK	1.28	OK
0.45	0.52	33.75	39	2327.63	3994.31	126138.09	119941.88	1.05	OK	1.28	OK
0.45	0.51	33.75	38.25	2316.94	3989.81	123371.44	119490.47	1.03	OK	1.28	OK
0.45	0.5	33.75	37.5	2306.25	3985.31	120647.81	119039.06	1.01	OK	1.28	OK
0.45	0.49	33.75	36.75	2295.56	3980.81	117967.22	118587.66	0.99	NOK	1.28	OK
0.45	0.48	33.75	36	2284.88	3976.31	115329.66	118136.25	0.98	NOK	1.28	OK
0.45	0.47	33.75	35.25	2274.19	3971.81	112735.13	117684.84	0.96	NOK	1.28	OK
0.45	0.46	33.75	34.5	2263.5	3967.31	110183.63	117233.44	0.94	NOK	1.28	OK
0.45	0.45	33.75	33.75	2252.81	3962.81	107675.16	116782.03	0.92	NOK	1.28	OK
0.45	0.44	33.75	33	2242.13	3958.31	105209.72	116330.63	0.90	NOK	1.28	OK
0.45	0.43	33.75	32.25	2231.44	3953.81	102787.31	115879.22	0.89	NOK	1.28	OK
0.45	0.42	33.75	31.5	2220.75	3949.31	100407.94	115427.81	0.87	NOK	1.28	OK
0.45	0.41	33.75	30.75	2210.06	3944.81	98071.594	114976.41	0.85	NOK	1.28	OK
0.45	0.4	33.75	30	2199.38	3940.31	95778.281	114525	0.84	NOK	1.28	OK
0.45	0.39	33.75	29.25	2188.69	3935.81	93528	114073.59	0.82	NOK	1.28	OK
0.45	0.38	33.75	28.5	2178	3931.31	91320.75	113622.19	0.80	NOK	1.28	OK
0.45	0.37	33.75	27.75	2167.31	3926.81	89156.531	113170.78	0.79	NOK	1.28	OK
0.45	0.36	33.75	27	2156.63	3922.31	87035.344	112719.38	0.77	NOK	1.28	OK
0.45	0.35	33.75	26.25	2145.94	3917.81	84957.188	112267.97	0.76	NOK	1.28	OK
0.45	0.34	33.75	25.5	2135.25	3913.31	82922.063	111816.56	0.74	NOK	1.28	OK
0.45	0.33	33.75	24.75	2124.56	3908.81	80929.969	111365.16	0.73	NOK	1.28	OK
0.45	0.32	33.75	24	2113.88	3904.31	78980.906	110913.75	0.71	NOK	1.28	OK
0.45	0.31	33.75	23.25	2103.19	3899.81	77074.875	110462.34	0.70	NOK	1.28	OK
0.45	0.3	33.75	22.5	2092.5	3895.31	75211.875	110010.94	0.68	NOK	1.28	OK
0.45	0.29	33.75	21.75	2081.81	3890.81	73391.906	109559.53	0.67	NOK	1.28	OK
0.45	0.28	33.75	21	2071.13	3886.31	71614.969	109108.13	0.66	NOK	1.28	OK
0.45	0.27	33.75	20.25	2060.44	3881.81	69881.063	108656.72	0.64	NOK	1.27	OK
0.45	0.26	33.75	19.5	2049.75	3877.31	68190.188	108205.31	0.63	NOK	1.27	OK
0.45	0.25	33.75	18.75	2039.06	3872.81	66542.344	107753.91	0.62	NOK	1.27	OK
0.45	0.24	33.75	18	2028.38	3868.31	64937.531	107302.5	0.61	NOK	1.27	OK
0.45	0.23	33.75	17.25	2017.69	3863.81	63375.75	106851.09	0.59	NOK	1.27	OK
0.45	0.22	33.75	16.5	2007	3859.31	61857	106399.69	0.58	NOK	1.27	OK
0.45	0.21	33.75	15.75	1996.31	3854.81	60381.281	105948.28	0.57	NOK	1.27	OK
0.45	0.2	33.75	15	1985.63	3850.31	58948.594	105496.88	0.56	NOK	1.27	OK

Tabel 4.11 Nilai SF Setiap Faktor Kemiringan Lereng Kondisi Gempa  $h = 50$  m

Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak Horizontal(J1) ( m )	Jarak Horizontal(J2) ( m )	Gaya Vertikal ( t )	Gaya Horizontal ( t )	Momen Vertikal ( tm )	Momen Horizontal ( tm )	SF berdasar			
								Guling	Geser		
0.45	0.54	22.5	27	1044	1779.25	39064.5	35805.833	1.09	OK	1.74	OK
0.45	0.53	22.5	26.5	1039.25	1777.25	38219.25	35672.083	1.07	OK	1.74	OK
0.45	0.52	22.5	26	1034.5	1775.25	37386.75	35538.333	1.05	OK	1.74	OK
0.45	0.51	22.5	25.5	1029.75	1773.25	36567	35404.583	1.03	OK	1.74	OK
0.45	0.5	22.5	25	1025	1771.25	35760	35270.833	1.01	OK	1.74	OK
0.45	0.49	22.5	24.5	1020.25	1769.25	34965.75	35137.083	1.00	NOK	1.74	OK
0.45	0.48	22.5	24	1015.5	1767.25	34184.25	35003.333	0.98	NOK	1.75	OK
0.45	0.47	22.5	23.5	1010.75	1765.25	33415.5	34869.583	0.96	NOK	1.75	OK
0.45	0.46	22.5	23	1006	1763.25	32659.5	34735.833	0.94	NOK	1.75	OK
0.45	0.45	22.5	22.5	1001.25	1761.25	31916.25	34602.083	0.92	NOK	1.75	OK
0.45	0.44	22.5	22	996.5	1759.25	31185.75	34468.333	0.90	NOK	1.75	OK
0.45	0.43	22.5	21.5	991.75	1757.25	30468	34334.583	0.89	NOK	1.75	OK
0.45	0.42	22.5	21	987	1755.25	29763	34200.833	0.87	NOK	1.75	OK
0.45	0.41	22.5	20.5	982.25	1753.25	29070.75	34067.083	0.85	NOK	1.75	OK
0.45	0.4	22.5	20	977.5	1751.25	28391.25	33933.333	0.84	NOK	1.75	OK
0.45	0.39	22.5	19.5	972.75	1749.25	27724.5	33799.583	0.82	NOK	1.75	OK
0.45	0.38	22.5	19	968	1747.25	27070.5	33665.833	0.80	NOK	1.75	OK
0.45	0.37	22.5	18.5	963.25	1745.25	26429.25	33532.083	0.79	NOK	1.75	OK
0.45	0.36	22.5	18	958.5	1743.25	25800.75	33398.333	0.77	NOK	1.75	OK
0.45	0.35	22.5	17.5	953.75	1741.25	25185	33264.583	0.76	NOK	1.75	OK
0.45	0.34	22.5	17	949	1739.25	24582	33130.833	0.74	NOK	1.75	OK
0.45	0.33	22.5	16.5	944.25	1737.25	23991.75	32997.083	0.73	NOK	1.75	OK
0.45	0.32	22.5	16	939.5	1735.25	23414.25	32863.333	0.71	NOK	1.75	OK
0.45	0.31	22.5	15.5	934.75	1733.25	22849.5	32729.583	0.70	NOK	1.75	OK
0.45	0.3	22.5	15	930	1731.25	22297.5	32595.833	0.68	NOK	1.75	OK
0.45	0.29	22.5	14.5	925.25	1729.25	21758.25	32462.083	0.67	NOK	1.75	OK
0.45	0.28	22.5	14	920.5	1727.25	21231.75	32328.333	0.66	NOK	1.75	OK
0.45	0.27	22.5	13.5	915.75	1725.25	20718	32194.583	0.64	NOK	1.75	OK
0.45	0.26	22.5	13	911	1723.25	20217	32060.833	0.63	NOK	1.75	OK
0.45	0.25	22.5	12.5	906.25	1721.25	19728.75	31927.083	0.62	NOK	1.75	OK
0.45	0.24	22.5	12	901.5	1719.25	19253.25	31793.333	0.61	NOK	1.75	OK
0.45	0.23	22.5	11.5	896.75	1717.25	18790.5	31659.583	0.59	NOK	1.75	OK
0.45	0.22	22.5	11	892	1715.25	18340.5	31525.833	0.58	NOK	1.75	OK
0.45	0.21	22.5	10.5	887.25	1713.25	17903.25	31392.083	0.57	NOK	1.76	OK
0.45	0.2	22.5	10	882.5	1711.25	17478.75	31258.333	0.56	NOK	1.76	OK



Tabel 4.12 Nilai SF Setiap Faktor Kemiringan Lereng Kondisi Gempa  $h = 25$  m

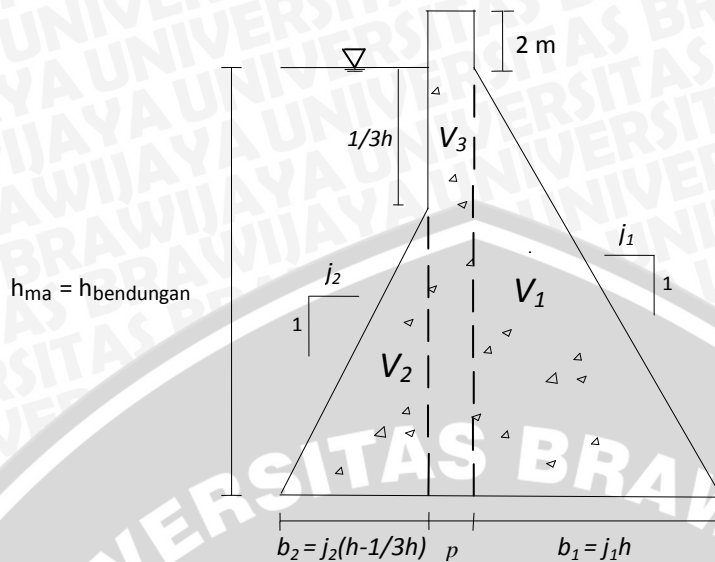
Faktor kemiringan lereng hilir	Faktor kemiringan lereng hulu	Jarak Horizontal(J1) ( m )	Jarak Horizontal(J2) ( m )	Gaya Vertikal ( t )	Gaya Horizontal ( t )	Momen Vertikal ( tm )	Momen Horizontal ( tm )	SF berdasar Guling		SF berdasar Geser	
0.45	0.54	11.25	13.5	261	444.81	4891.5	4475.7292	1.09	OK	3.13	OK
0.45	0.53	11.25	13.25	259.813	444.31	4785.8438	4459.0104	1.07	OK	3.14	OK
0.45	0.52	11.25	13	258.625	443.81	4681.7813	4442.2917	1.05	OK	3.14	OK
0.45	0.51	11.25	12.75	257.438	443.31	4579.3125	4425.5729	1.03	OK	3.14	OK
0.45	0.5	11.25	12.5	256.25	442.81	4478.4375	4408.8542	1.02	OK	3.14	OK
0.45	0.49	11.25	12.25	255.063	442.31	4379.1563	4392.1354	1.00	NOK	3.14	OK
0.45	0.48	11.25	12	253.875	441.81	4281.4688	4375.4167	0.98	NOK	3.15	OK
0.45	0.47	11.25	11.75	252.688	441.31	4185.375	4358.6979	0.96	NOK	3.15	OK
0.45	0.46	11.25	11.5	251.5	440.81	4090.875	4341.9792	0.94	NOK	3.15	OK
0.45	0.45	11.25	11.25	250.313	440.31	3997.9688	4325.2604	0.92	NOK	3.15	OK
0.45	0.44	11.25	11	249.125	439.81	3906.6563	4308.5417	0.91	NOK	3.15	OK
0.45	0.43	11.25	10.75	247.938	439.31	3816.9375	4291.8229	0.89	NOK	3.16	OK
0.45	0.42	11.25	10.5	246.75	438.81	3728.8125	4275.1042	0.87	NOK	3.16	OK
0.45	0.41	11.25	10.25	245.563	438.31	3642.2813	4258.3854	0.86	NOK	3.16	OK
0.45	0.4	11.25	10	244.375	437.81	3557.3438	4241.6667	0.84	NOK	3.16	OK
0.45	0.39	11.25	9.75	243.188	437.31	3474	4224.9479	0.82	NOK	3.16	OK
0.45	0.38	11.25	9.5	242	436.81	3392.25	4208.2292	0.81	NOK	3.17	OK
0.45	0.37	11.25	9.25	240.813	436.31	3312.0938	4191.5104	0.79	NOK	3.17	OK
0.45	0.36	11.25	9	239.625	435.81	3233.5313	4174.7917	0.77	NOK	3.17	OK
0.45	0.35	11.25	8.75	238.438	435.31	3156.5625	4158.0729	0.76	NOK	3.17	OK
0.45	0.34	11.25	8.5	237.25	434.81	3081.1875	4141.3542	0.74	NOK	3.17	OK
0.45	0.33	11.25	8.25	236.063	434.31	3007.4063	4124.6354	0.73	NOK	3.18	OK
0.45	0.32	11.25	8	234.875	433.81	2935.2188	4107.9167	0.71	NOK	3.18	OK
0.45	0.31	11.25	7.75	233.688	433.31	2864.625	4091.1979	0.70	NOK	3.18	OK
0.45	0.3	11.25	7.5	232.5	432.81	2795.625	4074.4792	0.69	NOK	3.18	OK
0.45	0.29	11.25	7.25	231.313	432.31	2728.2188	4057.7604	0.67	NOK	3.18	OK
0.45	0.28	11.25	7	230.125	431.81	2662.4063	4041.0417	0.66	NOK	3.19	OK
0.45	0.27	11.25	6.75	228.938	431.31	2598.1875	4024.3229	0.65	NOK	3.19	OK
0.45	0.26	11.25	6.5	227.75	430.81	2535.5625	4007.6042	0.63	NOK	3.19	OK
0.45	0.25	11.25	6.25	226.563	430.31	2474.5313	3990.8854	0.62	NOK	3.19	OK
0.45	0.24	11.25	6	225.375	429.81	2415.0938	3974.1667	0.61	NOK	3.19	OK
0.45	0.23	11.25	5.75	224.188	429.31	2357.25	3957.4479	0.60	NOK	3.20	OK
0.45	0.22	11.25	5.5	223	428.81	2301	3940.7292	0.58	NOK	3.20	OK
0.45	0.21	11.25	5.25	221.813	428.31	2246.3438	3924.0104	0.57	NOK	3.20	OK
0.45	0.2	11.25	5	220.625	427.81	2193.2813	3907.2917	0.56	NOK	3.20	OK

Catatan :

- Pada ketinggian 0 – 25 m, dapat menggunakan kemiringan lereng di hilir = 0,45 dan kemiringan lereng di hulu = 0,50
- Pada ketinggian 0 – 50 m, dapat menggunakan kemiringan lereng di hilir = 0,45 dan kemiringan lereng di hulu = 0,50
- Pada ketinggian 0 – 75 m, dapat menggunakan kemiringan lereng di hilir = 0,45 dan kemiringan lereng di hulu = 0,50
- Pada ketinggian 0 – 100 m, dapat menggunakan kemiringan lereng di hilir = 0,45 dan kemiringan lereng di hulu = 0,50
- Pada ketinggian 0 – 125 m, dapat menggunakan kemiringan lereng di hilir = 0,45 dan kemiringan lereng di hulu = 0,50
- Pada ketinggian 0 – 150 m, dapat menggunakan kemiringan lereng di hilir = 0,45 dan kemiringan lereng di hulu = 0,50



### 4.3 Bendungan Beton Sederhana dengan *Free Board*



Gambar 4.3 Bendungan beton sederhana dengan *Free Board*

Kemiringan lereng bendungan beton yang telah didapat pada awal perhitungan akan dicoba sejauh mana keamanannya apabila diaplikasikan pada bendungan beton sederhana yang memakai *free board*. Untuk mendapatkan SF dari bendungan tersebut, maka akan dilakukan perhitungan stabilitas berdasar guling dan geser dimana :

- $p$  = Lebar jalan pada free board
- $h_{ma}$  = Tinggi muka air
- $h_{bendungan}$  = Tinggi bendungan
- $b$  = Lebar bendungan

#### 4.3.1 Analisis Gaya

Gaya-gaya yang bekerja pada bendungan adalah sebagai berikut :

- a) Berat Sendiri Bangunan.

$$\begin{aligned}
 V_1 &= A \times \gamma_b \times \text{pias } 1 \text{ m} \\
 &= 1/2 \times h \times b_1 \times 2,4 \times \text{pias } 1 \text{ m} \\
 &= 1,2 \times h \times j_1 h \\
 &= 1,2 j_1 h^2 \text{ ton} \\
 V_2 &= A \times \gamma_b \times \text{pias } 1 \text{ m} \\
 &= 1/2 (h - 1/3h) \times b_2 \times 2,4 \times \text{pias } 1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (h - 1/3h) \times j_2 (h - 1/3h) 1,2 \\
 &= 1,2j_2 (h - 1/3h)^2 \text{ ton} \\
 &= 1,2j_2 (h^2 - 2/3h^2 + 1/9h^2) \\
 &= 1,2j_2h^2 - 0,8j_2h^2 + 0,13j_2h^2 \\
 &= 0,53j_2h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_3 &= A \times \gamma_b \times \text{pias } 1 \text{ m} \\
 &= (p(h + 2)) \times 2,4 \times \text{pias } 1 \text{ m} \\
 &= (2,4hp + 4,8p) \text{ ton}
 \end{aligned}$$

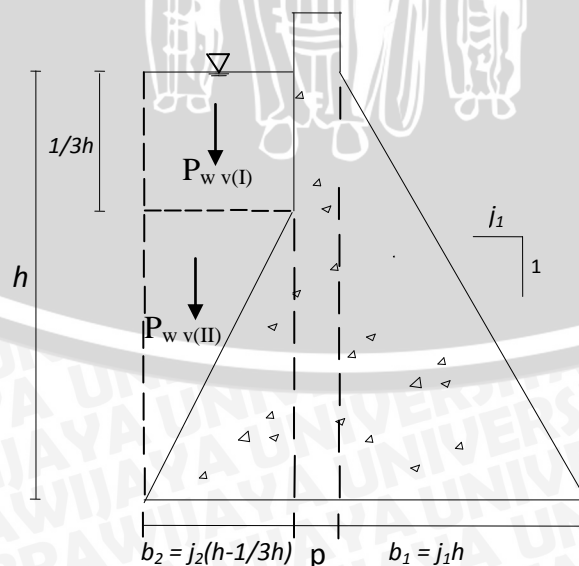
Momen yang timbul akibat berat sendiri bangunan dari ujung hilir bangunan,

$$\begin{aligned}
 MV_1 &= V_1 \times 2/3b_1 \\
 &= 1,2j_1h^2 \times 2/3(j_1h) \\
 &= 0,8j_1^2h^3 \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MV_2 &= V_2 \times (1/3b_2 + b_1) \\
 &= (0,53j_2h^2) \times (1/3j_2(h - 1/3h) + j_1h) \\
 &= (0,53j_2h^2) \times ((1/3j_2h - 1/9j_2h) + j_1h) \\
 &= (0,53j_2h^2) \times ((2/9j_2h) + j_1h) \\
 &= (0,12j_2^2h^3 + 0,53j_1j_2h^3) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MV_3 &= V_3 \times (0,5p + b_1) \\
 &= (2,4hp + 4,8p) \times (0,5p + j_1h) \\
 &= (1,2hp^2 + 2,4p^2 + 2,4j_1h^2p + 4,8j_1hp) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

b) Gaya Tekan Air Statis.



Gambar 4.4 Gaya Tekan Air Statis pada Bendungan Beton dengan *Free Board*



$$\begin{aligned}
 P_{w \text{ horisontal}} &= \frac{1}{2} \times \gamma_w \times h^2 \times b \\
 &= 1/2 \times 1 \times h^2 \times 1 \\
 &= 0,5h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{w \text{ vertikal (I)}} &= 1/3h \times \gamma_w \times b_2 \\
 &= 1/3h \times 1 \times j_2(h - 1/3h) \\
 &= 1/3h (j_2h - 1/3j_2h) \\
 &= 0,22j_2h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{w \text{ vertikal (II)}} &= 1/2 (h - 1/3h) \times \gamma_w \times b_2 \\
 &= 1/2 (h - 1/3h) \times 1 \times j_2(h - 1/3h) \\
 &= (1/2h - 1/6h) \times (j_2h - 1/3j_2h) \\
 &= 2/6h \times 2/3j_2h \\
 &= 0,22j_2h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Momen yang timbul akibat gaya tekan air statis,

$$\begin{aligned}
 MP_{w \text{ horisontal}} &= 1/3h \times P_w \\
 &= 0,33h \times 0,5h^2 \\
 &= 0,17h^3 \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MP_{w \text{ vertikal (I)}} &= P_{w \text{ vertikal (I)}} \times ((1/2b_2) + b_1) \\
 &= 0,22j_2h^2 \times (1/2j_2(h - 1/3h) + j_1h) \\
 &= 0,22j_2h^2 \times (2j_2h + j_1h) \\
 &= (0,44j_2^2h^3 + 0,22j_1j_2h^3) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MP_{w \text{ vertikal (II)}} &= P_{w \text{ vertikal (II)}} \times ((2/3b_2) + b_1) \\
 &= 0,22j_2h^2 \times (2/3j_2(h - 1/3h) + j_1h) \\
 &= 0,22j_2h^2 \times (2/3j_2h - 2/9j_2h + j_1h) \\
 &= 0,15j_2^2h^3 - 0,05j_2^2h^3 + j_1h \\
 &= (0,1j_2^2h^3 + j_1h) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

c) Gaya Tekan Air Dinamis.

$$\begin{aligned}
 P_d &= C_d \times \gamma_w \times K_1 \times h^2 \times b \\
 &= 7/12 \times 1 \times 0,15 \times h^2 \times 1 \\
 &= 0,09h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Momen yang timbul akibat gaya tekan air dinamis,

$$\begin{aligned}
 MP_d &= 2/5h \times P_d \\
 &= 2/5h \times 0,09h^2 \\
 &= 0,04h^3 \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

d) Gaya Tekan ke atas (*Up lift*).

$$\begin{aligned}
 P_u &= C \times \gamma_w \times \left[ \frac{1}{2} \times h \times b \right] \\
 &= 1 \times 1 \times (1/2 \times h \times (b_1 + b_2 + p) \times \text{pias } 1 \text{ m}) \\
 &= 1/2h ((j_1h) + (j_2(h - 1/3h)) + p) \\
 &= 1/2h ((j_1h) + (j_2h - 1/3j_2h) + p) \\
 &= (0,5j_1h^2 + 0,34j_2h^2 + 0,5hp) \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Momen yang timbul akibat Up Lift,

$$\begin{aligned}
 MP_u &= 2/3(b_1 + b_2 + p) \times P_u \\
 &= 2/3((j_1h) + (j_2(h - 1/3h)) + p) \times (0,5j_1h^2 + 0,335j_2h^2 + 0,5hp) \\
 &= ((0,67j_1h + 0,45j_2h + 0,67p) \times (0,5j_1h^2 + 0,34j_2h^2 + 0,5hp)) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

Untuk lebar dari tinggi jagaan pada awal perhitungan, akan dicoba dengan lebar satu lajur kendaraan sebesar 4 meter. Dan perhitungan kedua dicoba dengan lebar tinggi jagaan sebesar 8 meter untuk 2 lajur kendaraan. Perhitungan yang ketiga dicoba lebar jalan sebesar 12 meter dengan rincian 7 meter untuk 2 lajur kendaraan, 0,5 meter untuk bahu jalan, 1,5 meter untuk trotoir dan 0,5 meter untuk sandaran. (Sub Direktorat Perencanaan Teknis Jalan Bipran Bina Marga: 1990)

#### 4.3.2 Stabilitas Bendungan Terhadap Guling dan Geser Kondisi Normal

Dari analisis gaya tersebut, akan dilakukan perhitungan stabilitas bendungan terhadap guling dan geser. Adapun perhitungan stabilitas terhadap guling akan dilakukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SF_1 &= \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H} \\
 &= \frac{(M_V + MP_w \text{ vertikal} - MP_u)}{(MP_w \text{ horizontal})} \\
 &= \frac{(0,8j_1^2 h^3 + (0,12j_2^2 h^3 + 0,53j_1j_2 h^3) + (1,2hp^2 + 2,4p^2) + (2,4j_1 h^2 p + 4,8j_1 hp))}{h^3 / 6} \\
 &\quad + \frac{(0,44j_2^2 h^3 + 0,22j_1j_2 h^3 + 0,1j_2^2 h^3 + j_1 h) - ((0,67j_1 h + 0,45j_2 h + 0,67p) \times (0,5j_1 h^2 + 0,34j_2 h^2 + 0,5hp))}{h^3 / 6}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk perhitungan angka keamanan stabilitas bendungan terhadap geser akan dilakukan sebagai berikut :



$$\begin{aligned}
 SF_2 &= \frac{f\Sigma(V-u) + C \times A}{\Sigma H} \\
 &= \frac{0,6(1,2j_1h^2 + 0,53j_2h^2 + (2,4hp + 4,8p) - (0,5j_1h^2 + 0,34j_2h^2)) + (110(j_1h + j_2h + hp))}{h^2/2} \\
 &= \frac{0,72j_1h^2 + 0,32j_2h^2 + (1,44hp + 2,88p) - (0,3j_1h^2 + 0,2j_2h^2) + (110(j_1h + j_2h + hp))}{h^2/2}
 \end{aligned}$$

### 4.3.3 Stabilitas Bendungan Terhadap Guling dan Geser Kondisi Gempa

Pada keadaan gempa, analisis gaya untuk berat sendiri bangunan ditabulasikan sebagai berikut :

Tabel 4.13 Berat Sendiri Bangunan pada Keadaan Gempa

Gaya	Normal ( ton )	Gempa ( ton )	Jarak		M <sub>n</sub> ( tm )
			x ( m )	y ( m )	
V <sub>1</sub>	1,2j <sub>1</sub> h <sup>2</sup>	0,18j <sub>1</sub> h <sup>2</sup>	0,67b <sub>1</sub>	0,33h	0,06j <sub>1</sub> h <sup>3</sup>
V <sub>2</sub>	0,53j <sub>2</sub> h <sup>2</sup>	0,08j <sub>2</sub> h <sup>2</sup>	0,33b <sub>2</sub> +p+b <sub>1</sub>	0,33(h-0,33h)	0,02j <sub>2</sub> h <sup>3</sup>
V <sub>3</sub>	2,4hp + 4,8p	0,36hp + 0,72p	0,5p + b <sub>1</sub>	0,5(h + 2)	0,18h <sup>2</sup> p+0,72hp+0,72p

Dari analisis gaya diatas bisa dilakukan perhitungan stabilitas bendungan terhadap gaya guling pada keadaan gempa sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SF_1 &= \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H} \\
 &= \frac{(M_V + MP_{w \text{ vertikal}} - MP_u)}{(MP_{w \text{ horizontal}} + MP_d + M_{h \text{ gempa}})} \\
 &= \frac{(0,8j_1^2h^3 + 0,12j_2^2h^3 + 0,53j_1j_2h^3 + 1,2hp^2 + 2,4p^2 + 2,4j_1h^2p + 4,8j_1hp)}{0,17h^3 + 0,04h^3 + (0,06j_1h^3 + 0,02j_2h^3 + 0,18h^2p + 0,72hp + 0,72p)} \\
 &\quad + (0,44j_2^2h^3 + 0,22j_1j_2h^3 + 0,1j_2^2h^3 + j_1h) - ((0,67j_1h + 0,45j_2h + 0,67p) \\
 &\quad \times (0,5j_1h^2 + 0,34j_2h^2 + 0,5hp))
 \end{aligned}$$

Stabilitas bendungan terhadap geser pada keadaan gempa dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SF_2 &= \frac{f\Sigma(V-u) + C \times A}{\Sigma H} \\
 &= \frac{f\Sigma(V-u) + C \times A}{(P_{w \text{ horizontal}} + P_d + H_{e \text{ gempa}})} \\
 &= \frac{0,6(1,2j_1h^2 + 0,53j_2h^2 + (2,4hp + 4,8p) - 0,5j_1h^2 + 0,34j_2h^2 + 0,5hp)}{0,5h^2 + 0,09h^2 + (0,18j_1h^2 + 0,08j_2h^2 + 0,36hp + 0,72p)} \\
 &\quad + (110(j_1h + j_2h + hp)1)
 \end{aligned}$$

#### 4.3.4 Stabilitas Bendungan dengan Lebar *Free Board* Untuk 2 Lajur Kendaraan

Untuk perhitungan pada kondisi kedua dan ketiga, masing-masing dibedakan berdasarkan lebar *free board* yang pada kondisi kedua diasumsikan untuk dua lajur kendaraan. Sedangkan untuk kondisi ketiga, diasumsikan untuk dua lajur kendaraan beserta bangunan pelengkap jalan seperti bahu jalan, trotoir dan sandaran.

Setelah dilakukan perhitungan menurut rumusan yang telah dianalisis sebelumnya, didapat nilai kemiringan lereng yang berbeda pada setiap penambahan ketinggian bendungan.

Tabel 4.14 Nilai Kemiringan Lereng Bendungan pada Ketinggian yang Berbeda Kondisi Normal untuk 2 Lajur Kendaraan

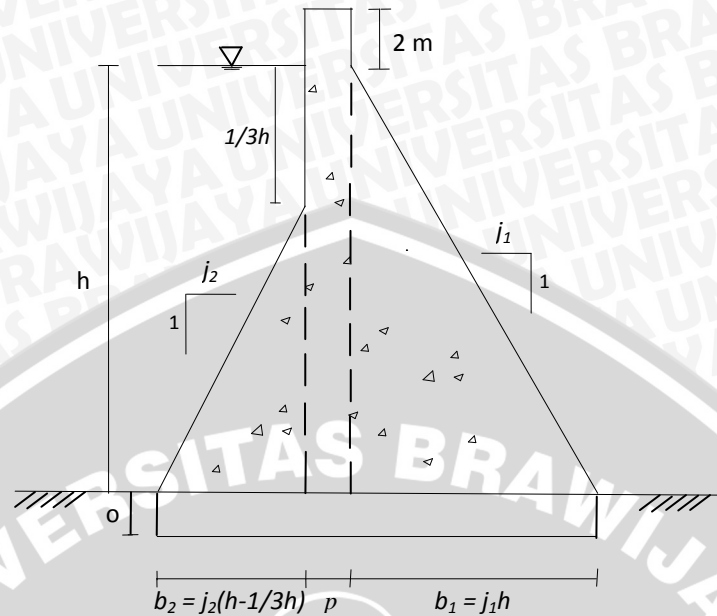
No	Tinggi ( m )	kemiringan " j " Guling	kemiringan " j " Geser
1	10	-	-
2	20	-	-
3	30	0.32	0.04
4	40	0.40	0.08
5	50	0.43	0.12
6	60	0.45	0.16
7	70	0.46	0.19
8	80	0.49	0.22
9	90	0.51	0.26
10	100	0.52	0.28
11	110	0.53	0.31
12	120	0.53	0.34
13	130	0.53	0.36
14	140	0.53	0.39
15	150	0.54	0.41

Tabel 4.15 Nilai Kemiringan Lereng Bendungan pada Ketinggian yang Berbeda Kondisi Normal untuk 2 Lajur Kendaraan beserta Bangunan Pelengkap

No	Tinggi ( m )	kemiringan " j " Guling	kemiringan " j " Geser
1	10	-	-
2	20	0.14	0.03
3	30	0.28	0.08
4	40	0.34	0.12
5	50	0.41	0.17
6	60	0.45	0.21
7	70	0.47	0.25
8	80	0.48	0.28
9	90	0.49	0.32
10	100	0.50	0.35
11	110	0.51	0.39
12	120	0.52	0.42
13	130	0.53	0.45
14	140	0.54	0.48
15	150	0.54	0.51



#### 4.4 Bendungan Beton Sederhana dengan Tapak Pondasi



Gambar 4.5 Bendungan Beton Sederhana dengan Tapak Pondasi

Penggunaan tapak pondasi sangat penting dalam perencanaan bendungan beton. Selain sebagai tumpuan bendungan, pondasi juga akan menambah keamanan terhadap guling dan geser. Diharapkan, dengan kombinasi penambahan lebar jalan inspeksi dan pondasi akan semakin meminimalisir kemiringan lereng bendungan yang akan direncanakan.

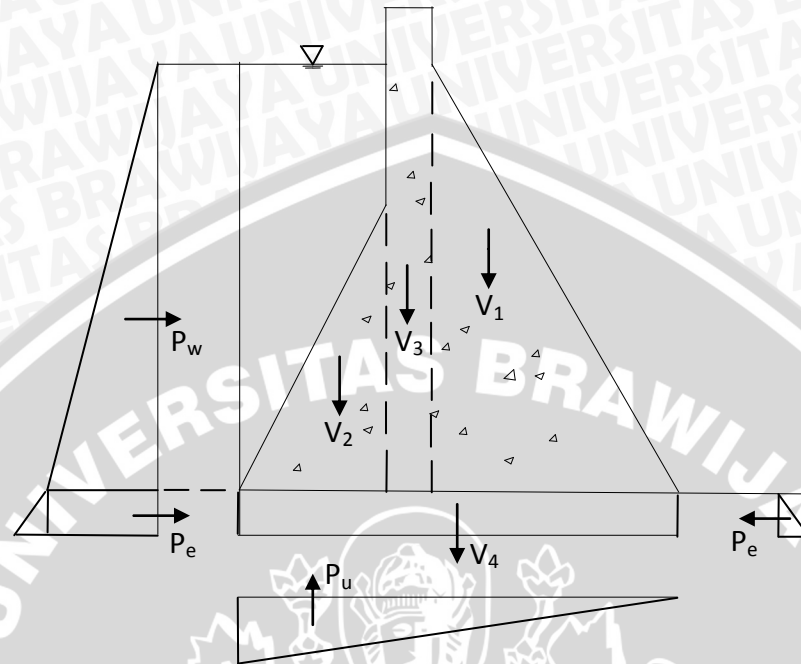
Dalam perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada bendungan, akan digunakan notasi-notasi sebagai berikut :

- b = Lebar
- p = Lebar jalan inspeksi
- o = Kedalaman pondasi

Tahap perhitungan yang akan dilakukan memiliki kesamaan dengan tahap perhitungan pada bendungan beton yang menggunakan *free board*. Yang membedakan yaitu, pada setiap lebar jalan inspeksi akan dicoba digunakan kedalam pondasi dari 2 meter, 4 meter, sampai 6 meter.

#### 4.4.1 Analisis Gaya

Dari kondisi awal yang diasumsikan, didapat analisis gaya untuk bendungan dengan *free board* dan tapak pondasi sebagai berikut :



Gambar 4.6 Gaya-gaya yang bekerja pada bendungan

a) Berat Sendiri Bangunan.

$$\begin{aligned} V_1 &= A \times \gamma_b \times \text{pias } 1 \text{ m} \\ &= 1/2 \times h \times b_1 \times 2,4 \times \text{pias } 1 \text{ m} \\ &= 1,2 \times h \times j_1 h \\ &= 1,2j_1 h^2 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= A \times \gamma_b \times \text{pias } 1 \text{ m} \\ &= 1/2 (h - 1/3h) \times b_2 \times 2,4 \times \text{pias } 1 \text{ m} \\ &= (h - 1/3h) \times j_2 (h - 1/3h) 1,2 \\ &= 1,2j_2 (h - 1/3h)^2 \text{ ton} \\ &= 1,2j_2 (h^2 - 2/3h^2 + 1/9h^2) \\ &= 1,2j_2 h^2 - 0,8j_2 h^2 + 0,13j_2 h^2 \\ &= 0,53j_2 h^2 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_3 &= A \times \gamma_b \times \text{pias } 1 \text{ m} \\ &= (p(h + 2)) \times 2,4 \times \text{pias } 1 \text{ m} \\ &= (2,4hp + 4,8p) \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_4 &= A \times \gamma_b \times \text{pias } 1 \text{ m} \\ &= ((p + b_1 + b_2) \times o) \times 2,4 \times \text{pias } 1 \text{ m} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= ((p + j_1h + j_2(h - 1/3h)) \times o) \times 2,4 \\
 &= ((p + j_1h + j_2h - 1/3j_2h) \times o) \times 2,4 \\
 &= 2,4po + 2,4j_1ho + 2,4j_2ho - 0,8j_2ho \\
 &= (2,4po + 2,4j_1ho + 1,6j_2ho) \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total } V &= V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \\
 &= (1,2j_1h^2 + 0,53j_2h^2 + 2,4hp + 4,8p + 2,4po + 2,4j_1ho + 1,6j_2ho) \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Momen yang timbul akibat berat sendiri bangunan dari ujung hilir bangunan,

$$\begin{aligned}
 MV_1 &= V_1 \times 2/3b_1 \\
 &= 1,2j_1h^2 \times 2/3(j_1h) \\
 &= 0,8j_1^2h^3 \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

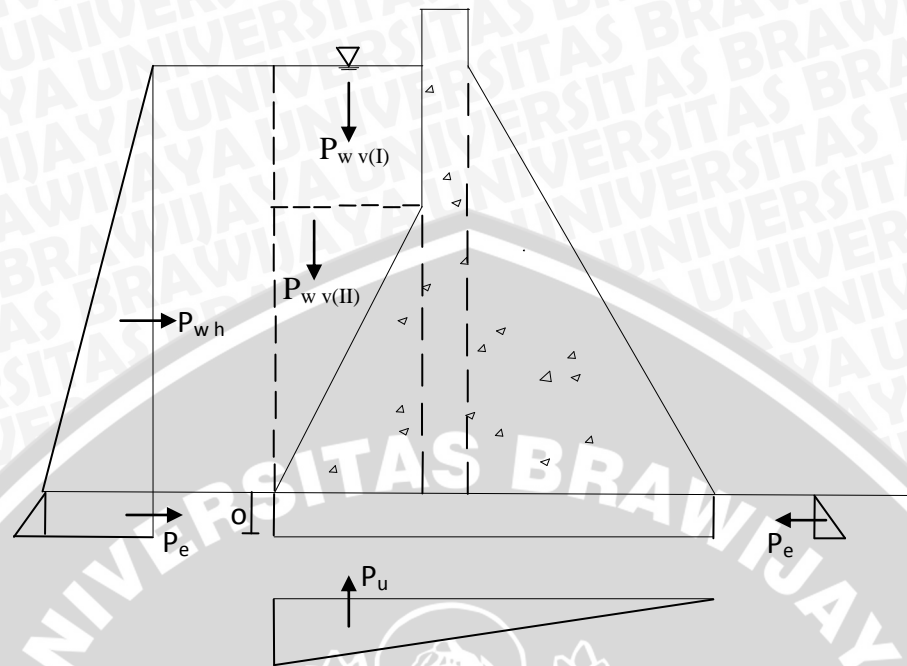
$$\begin{aligned}
 MV_2 &= V_2 \times (1/3b_2) + (b_1) \\
 &= (0,53j_2h^2) \times (1/3j_2(h - 1/3h) + (j_1h)) \\
 &= (0,53j_2h^2) \times (1/3j_2h - 1/9j_2h) + (j_1h) \\
 &= (0,53j_2h^2) \times (2/9j_2h) + (j_1h) \\
 &= (0,12j_2^2h^3 + 0,53j_1j_2h^3) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MV_3 &= V_3 \times (0,5p + b_1) \\
 &= (2,4hp + 4,8p) \times (0,5p + (j_1h)) \\
 &= (1,2hp^2 + 2,4p^2 + 2,4j_1h^2p + 4,8j_1hp) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MV_4 &= V_4 \times 0,5(p + b_1 + b_2) \\
 &= (2,4po + 2,4j_1ho + 1,6j_2ho) \times 0,5(p + j_1h + j_2(h - 1/3h)) \\
 &= (2,4po + 2,4j_1ho + 1,6j_2ho) \times (0,5p + 0,5j_1h + 0,33j_2h) \\
 &= (2,4po + 2,4j_1ho + 1,6j_2ho) \times (0,5p + 0,5j_1h + 0,33j_2h) \\
 &= (1,2p^2o + 1,2j_1hpo + 0,8j_2hpo + 1,2j_1hpo + 1,2j_1^2h^2o + 0,8j_1j_2h^2o + \\
 &\quad 0,8j_2hpo + 0,8j_1j_2h^2o + 0,53j_2^2h^2o) \\
 &= (1,2p^2o + 2,4j_1hpo + 1,6j_2hpo + 1,2j_1^2h^2o + 1,6j_1j_2h^2o + 0,53j_2^2h^2o) \text{tm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total } MV &= MV_1 + MV_2 + MV_3 + MV_4 \\
 &= (0,8j_1^2h^3 + 0,12j_2^2h^3 + 0,53j_1j_2h^3 + 1,2hp^2 + 2,4p^2 + 2,4j_1h^2p + \\
 &\quad 4,8j_1hp + 1,2p^2o + 2,4j_1hpo + 1,6j_2hpo + 1,2j_1^2h^2o + 1,6j_1j_2h^2o + \\
 &\quad 0,53j_2^2h^2o) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

## b) Gaya Tekan Air Statis.



Gambar 4.7 Gaya Tekan Air Statis pada Bendungan Beton dengan Tapak Pondasi

$$\begin{aligned}
 P_{w \text{ horizontal}} &= \frac{1}{2} \times \gamma_w \times h^2 \times b \\
 &= 1/2 \times 1 \times h^2 \times 1 \\
 &= 0,5h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{w \text{ vertikal (I)}} &= 1/3h \times \gamma_w \times b_2 \\
 &= 1/3h \times 1 \times j_2(h - 1/3h) \\
 &= 1/3h (j_2h - 1/3j_2h) \\
 &= 0,22j_2h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{w \text{ vertikal (II)}} &= 1/2 (h - 1/3h) \times \gamma_w \times b_2 \\
 &= 1/2 (h - 1/3h) \times 1 \times j_2(h - 1/3h) \\
 &= (1/2h - 1/6h) \times (j_2h - 1/3j_2h) \\
 &= 2/6h \times 2/3j_2h \\
 &= 0,22j_2h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Momen yang timbul akibat gaya tekan air statis,

$$\begin{aligned}
 MP_{w \text{ horizontal}} &= 1/3h \times P_w \\
 &= 0,33h \times 0,5h^2 \\
 &= 0,17h^3 \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 MP_{w \text{ vertikal (I)}} &= P_{w \text{ vertikal (I)}} \times ((1/2b_2) + b_1)) \\
 &= 0,22j_2h^2 \times ((1/2j_2(h - 1/3h) + j_1h)) \\
 &= 0,22j_2h^2 \times (2j_2h + j_1h) \\
 &= (0,44j_2^2h^3 + 0,22j_1j_2h^3) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MP_{w \text{ vertikal (II)}} &= P_{w \text{ vertikal (II)}} \times ((2/3b_2) + b_1) \\
 &= 0,22j_2h^2 ((2/3j_2(h - 1/3h) + j_1h) \\
 &= 0,22j_2h^2 (2/3j_2h - 2/9j_2h) + j_1h \\
 &= 0,15j_2^2h^3 - 0,05j_2^2h^3 + j_1h \\
 &= (0,1j_2^2h^3 + j_1h) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

c) Gaya Tekan Air Dinamis.

$$\begin{aligned}
 P_d &= C_d \times \gamma_w \times K_1 \times h^2 \times b \\
 &= 7/12 \times 1 \times 0,15 \times h^2 \times 1 \\
 &= 0,09h^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Momen yang timbul akibat gaya tekan air dinamis,

$$\begin{aligned}
 MP_d &= 2/5 \times h \times P_d \\
 &= 0,2h \times 0,09h^2 \\
 &= 0,04h^3 \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

d) Gaya Tekan ke atas (*Up lift*).

$$\begin{aligned}
 P_u &= C \times \gamma_w \times \left[ \frac{1}{2} \times h \times b \right] \\
 &= 1 \times 1 \times (1/2 \times h \times (b_1 + b_2 + p)) \times \text{pias 1 m} \\
 &= 1/2h ((j_1h) + (j_2(h - 1/3h)) + p) \\
 &= 1/2h ((j_1h) + (j_2h - 1/3j_2h) + p) \\
 &= (0,5j_1h^2 + 0,34j_2h^2 + 0,5hp) \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Momen yang timbul akibat Up Lift,

$$\begin{aligned}
 MP_u &= 2/3(b_1 + b_2 + p) \times P_u \\
 &= 2/3((j_1h) + (j_2(h - 1/3h)) + p) \times (0,5j_1h^2 + 0,335j_2h^2 + 0,5hp) \\
 &= ((0,67j_1h + 0,45j_2h + 0,67p) \times (0,5j_1h^2 + 0,34j_2h^2 + 0,5hp)) \text{ ton meter}
 \end{aligned}$$

e) Tekanan Tanah

$$P_e = \frac{1}{2} \times \gamma_e \times h_e^2 \times C_e \times b$$

Untuk menghitung  $C_e$  (koefisien tekanan tanah), digunakan perhitungan sebagai berikut :

- $o$  = kedalaman pondasi (m)
- Rumus Rankine

$$C_e = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \cos \phi},$$

dimana  $\phi = 30^\circ$  yang merupakan sudut geser dalam minimum untuk tanah keras.

$$C_e = \frac{1 - \sin 30}{1 + \cos 30}$$

$$C_e = 0,33$$

- Rumus Muller Breslan

$$C_e' = \frac{\cos(\theta + \theta_0)}{\cos^2 \theta} \times \frac{\cos(\theta + \theta_0) - \sqrt{\cos^2(\theta + \theta_0) - \cos^2 \theta}}{\cos(\theta + \theta_0) + \sqrt{\cos^2(\theta + \theta_0) - \cos^2 \theta}}$$

Dengan rincian sebagai berikut :

$$\phi = \text{sudut geser dalam} = 30^\circ$$

$$\theta_0 = \text{sudut inklinasi dari dasar} = 0$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{k_h}{1 - k_v} \quad \Rightarrow \quad \text{dimana } k_h = 0,15 ; k_v = 0$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0,15}{1 - 0}$$

$$\theta = 8,53^\circ$$

$$\cos \theta = 0,99$$

$$\cos(\theta + \theta_0) = 0,99$$

$$\cos 30^\circ = 0,87$$

$$C_e' = \frac{\cos(\theta + \theta_0)}{\cos^2 \theta} \times \frac{\cos(\theta + \theta_0) - \sqrt{\cos^2(\theta + \theta_0) - \cos^2 \theta}}{\cos(\theta + \theta_0) + \sqrt{\cos^2(\theta + \theta_0) - \cos^2 \theta}}$$

$$= \frac{\cos(8,53^\circ)}{\cos^2 8,53^\circ} \times \frac{\cos(8,53^\circ) - \sqrt{\cos^2(8,53^\circ) - \cos^2 30^\circ}}{\cos(8,53^\circ) + \sqrt{\cos^2(8,53^\circ) - \cos^2 30^\circ}}$$

$$= \frac{0,99}{0,99^2} \times \frac{0,99 - \sqrt{0,99^2 - 0,87^2}}{0,99 + \sqrt{0,99^2 - 0,87^2}}$$

$$= 1,02 \times \frac{0,99 - 0,48}{0,99 + 0,48}$$

$$= 0,36$$

$$\begin{aligned} \therefore P_e (\text{keadaan normal}) &= 0,5 \times 1,5 \times o^2 \times 0,33 \times 1 \\ &= 0,25o^2 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore P_e (\text{keadaan gempa}) &= 0,5 \times 1,5 \times o^2 \times 0,36 \times 1 \\ &= 0,27o^2 \text{ ton} \end{aligned}$$



Momen yang timbul akibat tekanan tanah,

$$\begin{aligned}\therefore MP_e (\text{keadaan normal}) &= 2/3o \times Pe \\ &= 0,67o \times 0,25o^2 \\ &= 0,17o^3 \text{ ton meter}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore MP_e (\text{keadaan gempa}) &= 2/3o \times Pe \\ &= 0,67o \times 0,27o^2 \\ &= 0,18o^3 \text{ ton meter}\end{aligned}$$

#### 4.4.2 Stabilitas Bendungan Terhadap Guling dan Geser Kondisi Normal

Dari analisis gaya tersebut, akan dilakukan perhitungan stabilitas bendungan terhadap guling dan geser. Adapun perhitungan stabilitas terhadap guling akan dilakukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}SF_1 &= \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H} \\ &= \frac{(M_V + MP_{w \text{ vertikal}} - MP_U)}{(MP_{w \text{ horizontal}})} \\ &= \frac{(0,8j_1^2 h^3 + (0,12j_2^2 h^3 + 0,53j_1 j_2 h^3) + (1,2hp^2 + 2,4p^2) + (2,4j_1 h^2 p + 4,8j_1 hp) + (1,2p^2 o + 2,4j_1 hpo + 1,6j_2 hpo + 1,2j_1^2 h^2 o + 1,6j_1 j_2 h^2 o + 0,53j_2^2 h^2 o) + (0,44j_2^2 h^3 + 0,22j_1 j_2 h^3 + 0,1j_2^2 h^3 + j_1 h) - ((0,67j_1 h + 0,45j_2 h + 0,67p) \times (0,5j_1 h^2 + 0,34j_2 h^2 + 0,5hp))}{h^3 / 6}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk perhitungan angka keamanan stabilitas bendungan terhadap geser akan dilakukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}SF_2 &= \frac{f\Sigma (V-u) + C \times A}{\Sigma H} \\ &= \frac{0,6(1,2j_1 h^2 + 0,53j_2 h^2 + (2,4hp + 4,8p) + (2,4po + 2,4j_1 ho + 1,6j_2 ho) - (0,5j_1 h^2 + 0,34j_2 h^2 + 0,5hp)) + (110(j_1 h + j_2 h + hp))}{h^2 / 2}\end{aligned}$$

#### 4.4.3 Stabilitas Bendungan Terhadap Guling dan Geser Kondisi Gempa

Perhitungan stabilitas bendungan terhadap guling dan geser juga diperhitungkan pada kondisi gempa. Dalam kondisi gempa, berat bangunan akan dikalikan dengan

koefisien gempa yang akan menghasilkan gaya berarah horizontal sebagai akibat dari gaya *seismic* yang terjadi. Uraian berat bangunan dipaparkan dalam tabel 4.33.

Tabel 4.16 Berat Bangunan pada Kondisi Gempa

Gaya	Normal (ton)	Gempa (ton)	Jarak y ( m )	M <sub>h</sub> ( tm )
V <sub>1</sub>	1,2j <sub>1</sub> h <sup>2</sup>	0,18j <sub>1</sub> h <sup>2</sup>	0,33h	0,06j <sub>1</sub> h <sup>3</sup>
V <sub>2</sub>	0,53j <sub>2</sub> h <sup>2</sup>	0,08j <sub>2</sub> h <sup>2</sup>	0,33(h-0,33h)	0,02j <sub>2</sub> h <sup>3</sup>
V <sub>3</sub>	2,4hp + 4,8p	0,36hp + 0,72p	0,5(h + 2)	0,18h <sup>2</sup> p+0,72hp+0,72p
V <sub>4</sub>	2,4po+2,4j <sub>1</sub> ho+1,6j <sub>2</sub> ho	0,36po+0,36j <sub>1</sub> ho+0,24j <sub>2</sub> ho	0,5o	0,18po <sup>2</sup> +0,18j <sub>1</sub> ho <sup>2</sup> +0,12j <sub>2</sub> ho <sup>2</sup>

Adapun perhitungan stabilitas terhadap guling untuk kondisi gempa akan dilakukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SF_1 &= \frac{\sum M_V}{\sum M_H} \\
 &= \frac{(M_V + MP_{w \text{ vertikal}} - MP_U)}{(MP_{w \text{ horizontal}} + MP_d + M_h \text{ gempa})} \\
 &= \frac{(0,8j_1^2 h^3 + (0,12j_2^2 h^3 + 0,53j_1 j_2 h^3) + (1,2hp^2 + 2,4p^2) + (2,4j_1 h^2 p + 4,8j_1 hp))}{(0,17h^3 + 0,04h^3 + (0,06j_1 h^3 + 0,02j_2 h^3) + (0,18h^2 p + 0,72hp + 0,72p) + (1,2p^2 o + 2,4j_1 hpo + 1,6j_2 hpo + 1,2j_1^2 h^2 o + 1,6j_1 j_2 h^2 o + 0,53j_2^2 h^2 o) + (0,44j_2^2 h^3 + (0,18po^2 + 0,18j_1 ho^2 + 0,12j_2 ho^2)))} \\
 &+ 0,22j_1 j_2 h^3 + 0,1j_2^2 h^3 + j_1 h - ((0,67j_1 h + 0,45j_2 h + 0,67p) \times (0,5j_1 h^2 + 0,34j_2 h^2 + 0,5hp))
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk perhitungan angka keamanan stabilitas bendungan terhadap geser dalam kondisi gempa akan dilakukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SF_2 &= \frac{f \sum (V-u) + C \times A}{\sum H} \\
 &= \frac{f \sum (V-u) + C \times A}{(P_{w \text{ horizontal}} + P_d + H_e \text{ gempa})} \\
 &= \frac{0,6(1,2j_1 h^2 + 0,53j_2 h^2 + (2,4hp + 4,8p) + (2,4po + 2,4j_1 ho + 1,6j_2 ho))}{0,5h^2 + 0,09h^2 + (0,18j_1 h^2 + 0,08j_2 h^2 + 0,36hp + 0,72p + 0,36po - (0,5j_1 h^2 + 0,34j_2 h^2 + 0,5hp)) + (110(j_1 h + j_2 h + hp)1} \\
 &+ 0,36j_1 ho + 2,4j_2 ho)
 \end{aligned}$$

#### 4.5 Grafik Hubungan Ketinggian Bendungan dengan Faktor Kemiringan Lereng Bendungan yang Menggunakan Jalan Inspeksi dan Tapak Pondasi

Pada perhitungan stabilitas terhadap guling dan geser dengan menggunakan profil bendungan yang memakai jalan inspeksi dan kedalaman pondasi, didapatkan hasil bahwa faktor kemiringan lereng bendungan yang bisa digunakan untuk memenuhi



angka keamanan minimum selalu berubah-ubah sesuai dengan bertambahnya lebar jalan inspeksi dan kedalaman pondasi. Pondasi yang digunakan di dalam perhitungan dicoba dengan kedalaman 2 meter, 4 meter dan 6 meter dan menggunakan lebar jalan inspeksi dengan interval 4 meter, 8 meter dan 12 meter. Dari perhitungan stabilitas bendungan, dapat digambarkan grafik hubungan tinggi dari suatu bendungan dengan faktor kemiringan lereng dan kedalaman pondasi yang bisa digunakan untuk memenuhi syarat minimum stabilitas bendungan terhadap guling dan geser. Di awal perhitungan, kedalaman pondasi maksimum yang digunakan sedalam 6 meter. Kedalaman tersebut digunakan sebagai kedalaman maksimum karena mengacu pada persyaratan umum dari perencanaan bendungan beton itu sendiri, yaitu bendungan beton harus didirikan di atas lapisan tanah yang memiliki karakteristik keras hingga kedalaman tertentu, sehingga pondasi yang digunakan tidak terlalu dalam. Akan tetapi kedalaman tersebut juga bergantung dari kondisi tanah di lokasi rencana. Semakin dalam pondasi yang digunakan, semakin besar pula angka keamanan yang bisa didapatkan agar memenuhi kestabilan bendungan terhadap guling dan geser.

Grafik yang akan dipaparkan akan digolongkan menurut lebar dari jalan inspeksi yang akan digunakan. Sehingga, grafik akan dibagi menjadi beberapa tipe yaitu :

a) Tipe A

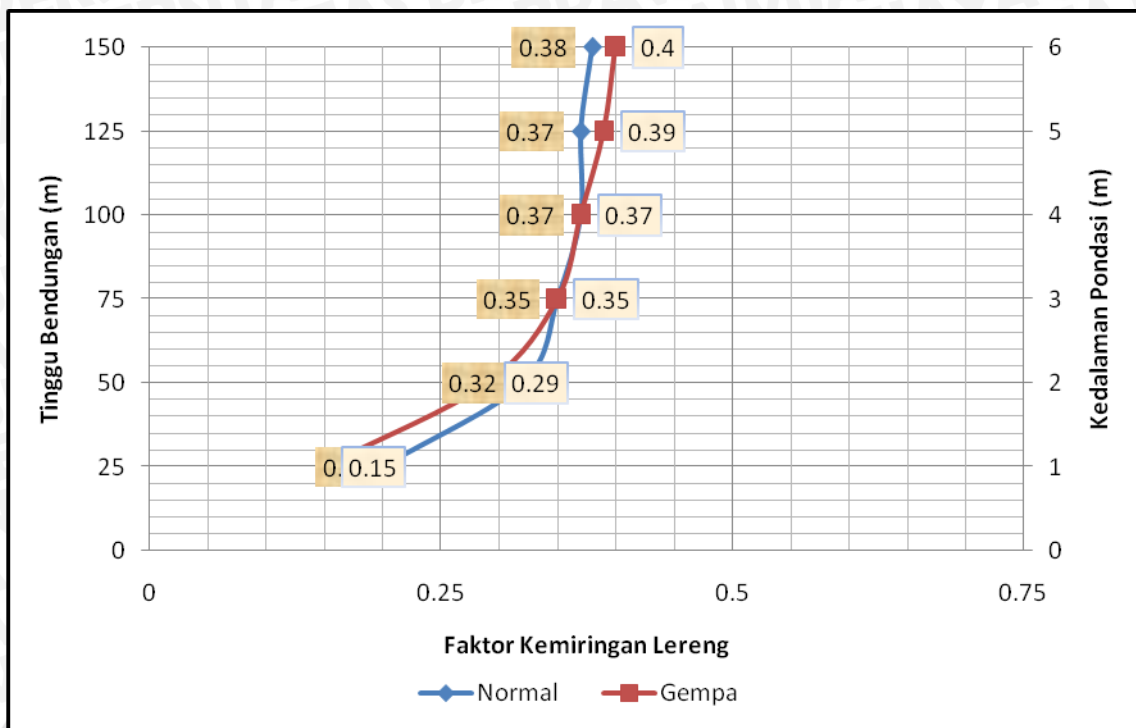
Merupakan grafik hubungan antara tinggi bendungan, faktor kemiringan lereng, dan kedalaman pondasi pada kondisi normal dan gempa. Nilai faktor kemiringan lereng pada grafik tipe ini didapat dari perhitungan yang menggunakan kedalaman pondasi sebesar 2 meter.

b) Tipe B

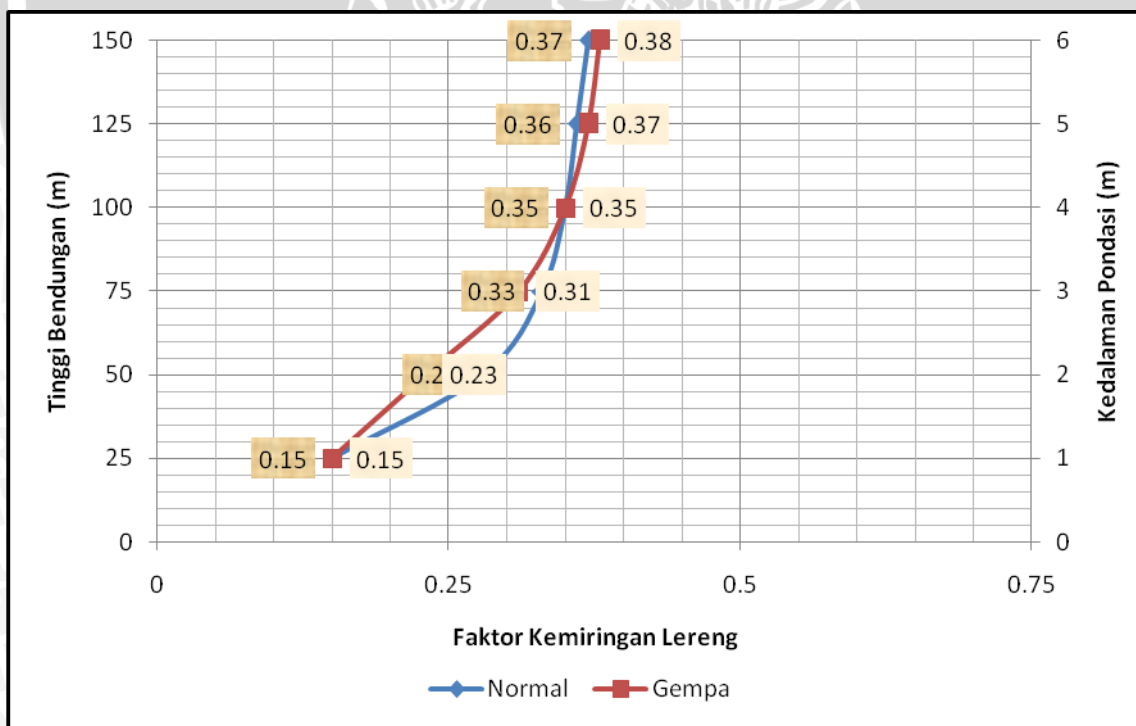
Merupakan grafik hubungan antara tinggi bendungan, faktor kemiringan lereng, dan kedalaman pondasi pada kondisi normal dan gempa. Nilai faktor kemiringan lereng pada grafik tipe ini didapat dari perhitungan yang menggunakan kedalaman pondasi sebesar 4 meter.

c) Tipe C

Merupakan grafik hubungan antara tinggi bendungan, faktor kemiringan lereng, dan kedalaman pondasi pada kondisi normal dan gempa. Nilai faktor kemiringan lereng pada grafik tipe ini didapat dari perhitungan yang menggunakan kedalaman pondasi sebesar 6 meter.

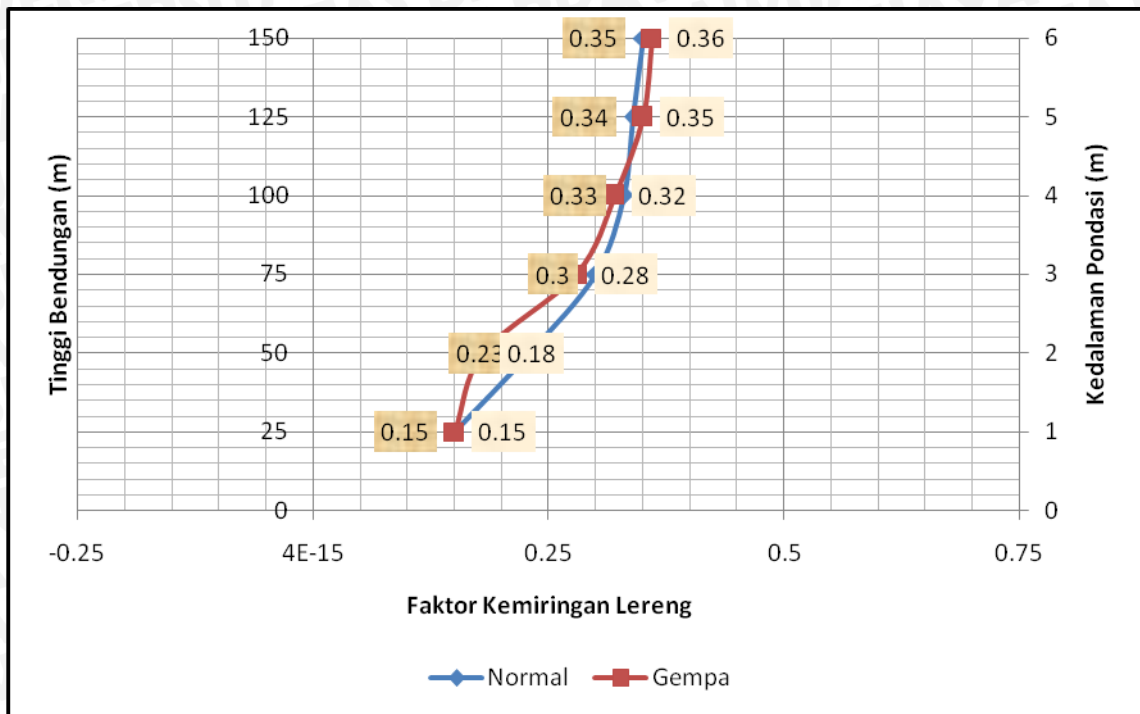


Gambar 4.8 Hubungan Tinggi Bendungan dan Faktor Kemiringan Lereng Untuk Lebar Jalan Inspeksi 4 meter tipe A



Gambar 4.9 Hubungan Tinggi Bendungan dan Faktor Kemiringan Lereng Untuk Lebar Jalan Inspeksi 4 meter tipe B

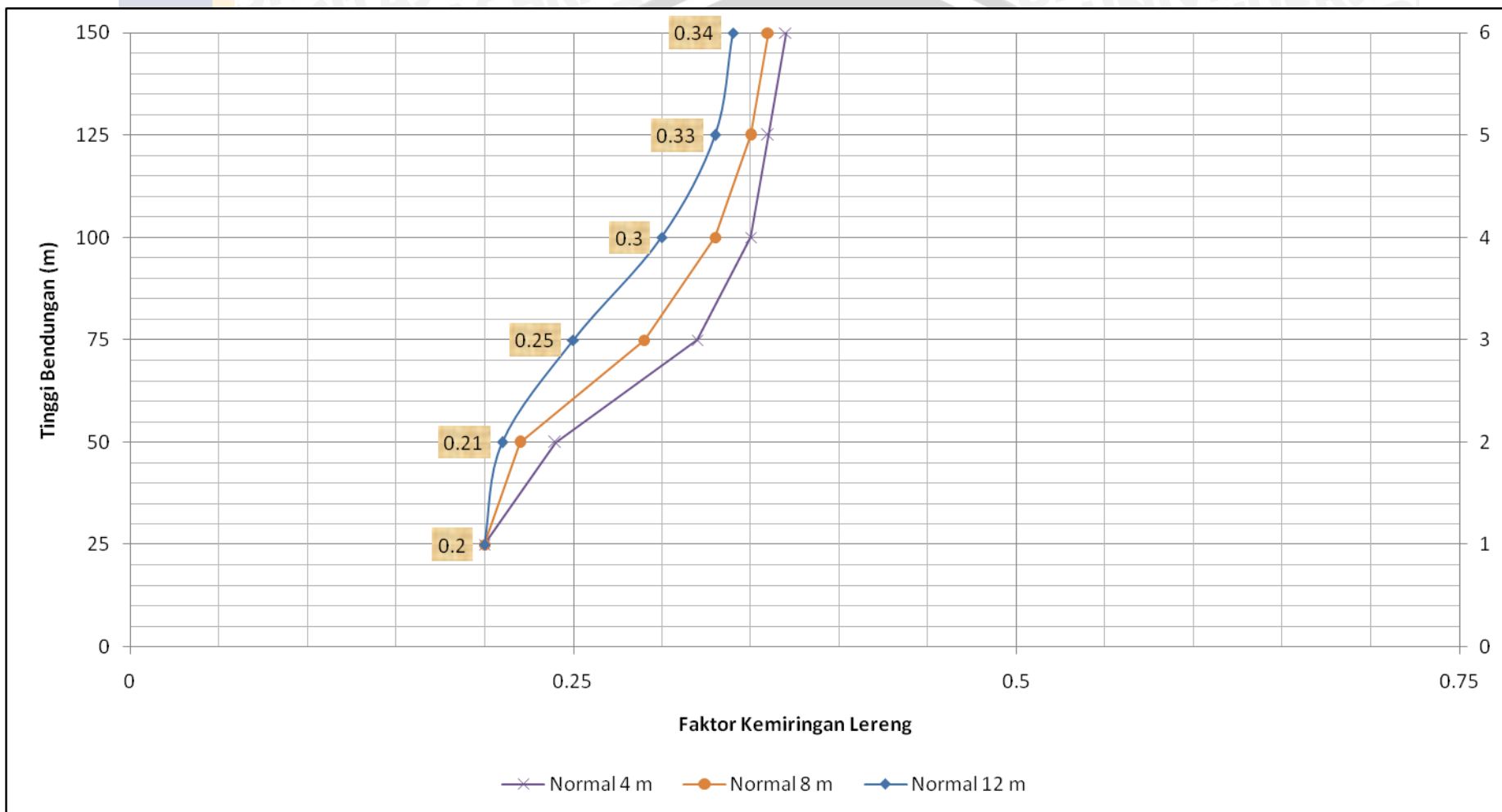




Gambar 4.10 Hubungan Tinggi Bendungan dan Faktor Kemiringan Lereng Untuk Lebar Jalan Inspeksi 4 meter tipe C

Ketiga grafik diatas diperoleh dengan mengambil jalan inspeksi sebesar 4 meter sebagai patokan perencanaannya. Sehingga dalam memilih faktor kemiringan lereng, terlebih dahulu harus menentukan lebar jalan inspeksi yang akan digunakan. Sehingga, pada bendungan beton yang menggunakan *free board* dan tapak pondasi, nilai kemiringan lereng bendungan untuk setiap ketinggian memiliki batas nilai yang didapat dari grafik. Hubungan tinggi bendungan dan faktor kemiringan lereng pada masing-masing tipe. Penggunaan grafik diatas untuk menentukan nilai kemiringan lereng bendungan yang bisa digunakan pada tinggi bendungan rencana. Pada grafik juga ditampilkan kedalaman minimum dari pondasi yang bisa digunakan untuk tinggi bendungan rencana. Oleh karena itu, sebaiknya digunakan grafik tipe A. Pemilihan tersebut berdasarkan pada proses perhitungan grafik tipe A menggunakan kedalaman pondasi minimal yaitu 2 meter. Sehingga nilai kemiringan lereng yang didapat merupakan nilai minimum yang bisa digunakan dalam pemenuhan stabilitas terhadap guling dan geser. Apabila dipilih kedalaman pondasi yang melebihi nilai kedalaman pondasi minimum, akan didapatkan angka keamanan yang stabil.

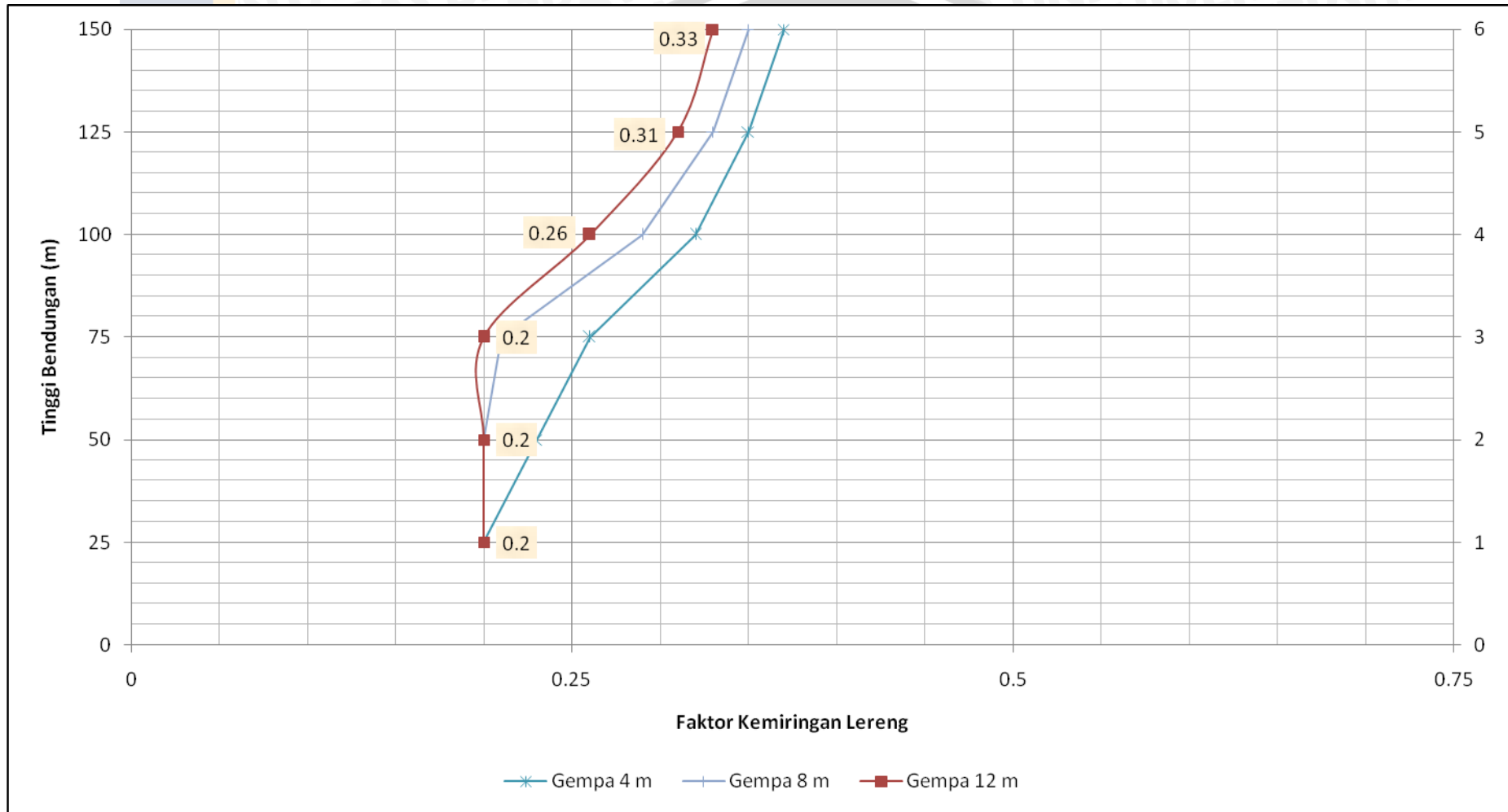
Kedalaman Pondasi 4 meter



Gambar 4.11 Hubungan Tinggi Bendungan dan Faktor Kemiringan Lereng Untuk Lebar Jalan Inspeksi 8 meter, Kedalaman pondasi 4 meter

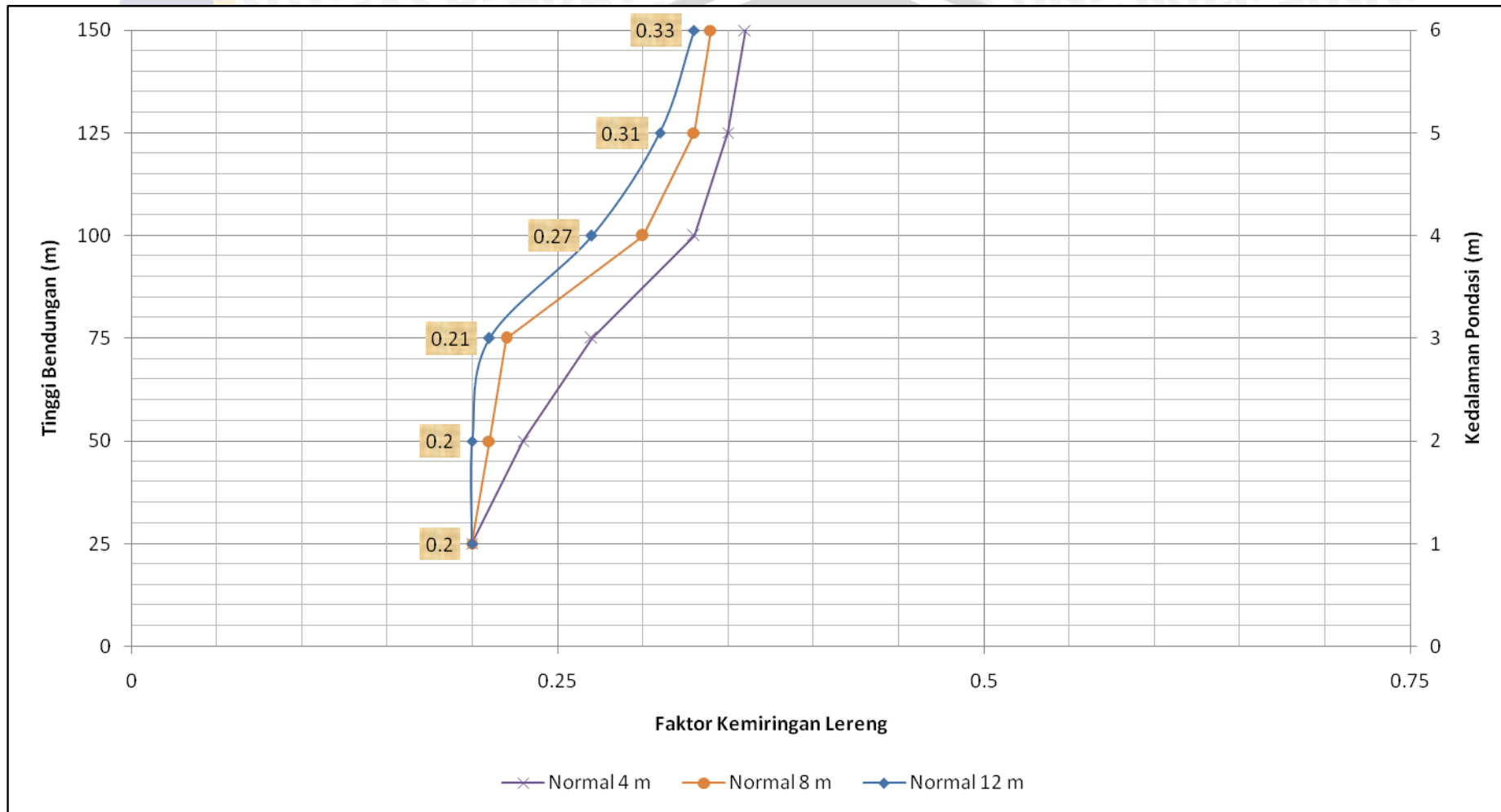


Kedalaman Pondasi 4 meter



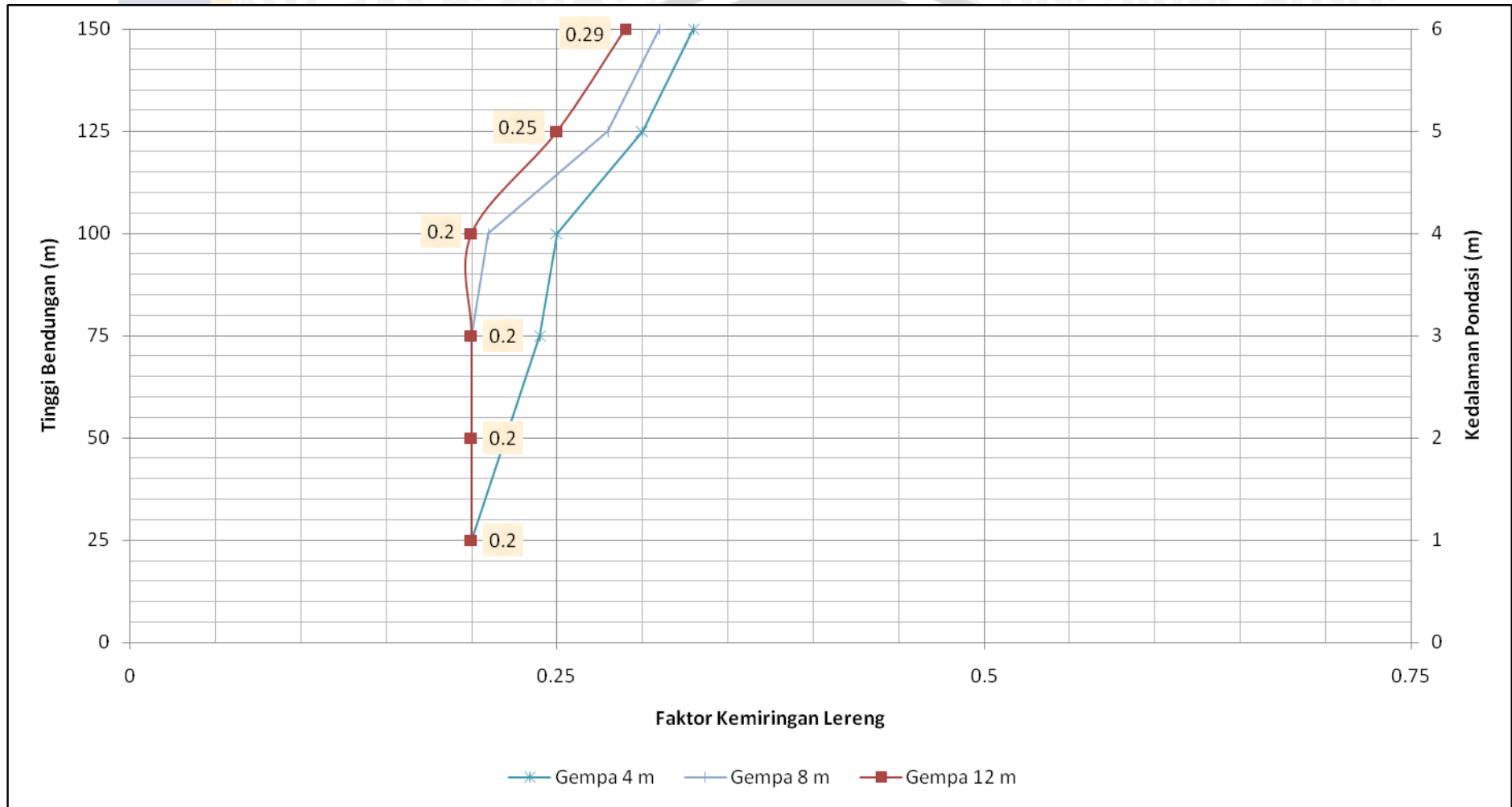
Gambar 4.12 Hubungan Tinggi Bendungan dan Faktor Kemiringan Lereng Untuk Lebar Jalan Inspeksi 8 meter, Kedalaman Pondasi 4 meter

Kedalaman Pondasi 6 meter



Gambar 4.13 Hubungan Tinggi Bendungan dan Faktor Kemiringan Lereng Untuk Lebar Jalan Inspeksi 12 meter, Kedalaman Pondasi 6 meter

Kedalaman Pondasi 6 meter



Gambar 4.14 Hubungan Tinggi Bendungan dan Faktor Kemiringan Lereng Untuk Lebar Jalan Inspeksi 12 meter, Kedalaman Pondasi 6 meter



## 4.6 Pembahasan

### 4.6.1 Bentuk Bendungan yang Efektif Untuk Profil Dasar pada Bendungan Beton

Penggunaan bendungan beton dengan profil dasar pada tahap awal perhitungan akan mengeksplisitkan batas nilai minimum kemiringan lereng bendungan yang bisa digunakan dalam pemenuhannya terhadap stabilitas guling dan geser. Stabilitas guling dan geser juga akan ditinjau pada kondisi normal dan gempa. Pada tabel 4.1, dalam kondisi normal didapatkan nilai kemiringan lereng bendungan yang aman terhadap geser pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,28. Pada tabel 4.10, dalam kondisi gempa didapatkan nilai kemiringan lereng bendungan yang aman terhadap geser pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,20. Pada kedua tabel, nilai yang diperoleh ditentukan oleh tinggi bendungan yang direncanakan. Semakin tinggi bendungan, semakin landai kemiringan lereng bendungan yang digunakan. Untuk nilai kemiringan lereng bendungan terhadap stabilitas guling, pada kondisi normal didapatkan nilai pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,30 dan pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,50 pada kondisi gempa. Dengan memilih menggunakan profil dasar dari bendungan beton, dibutuhkan kemiringan lereng yang sangat landai untuk memenuhi syarat angka keamanan terhadap guling. Hal ini sebaiknya dihindari mengingat dalam perencanaan suatu bendungan beton, selain pemenuhan keamanan terhadap stabilitas guling dan geser, faktor keekonomisan juga diperhitungkan. Karena semakin landai lereng bendungan, semakin banyak volume beton yang dibutuhkan.

Keadaan guling pada bendungan terjadi jika gaya horizontal yang bekerja lebih besar dari gaya vertikal menahan gaya horizontal. Gaya vertikal yang bekerja pada bendungan adalah berat sendiri bangunan.

### 4.6.2 Bentuk Bendungan yang Efektif dengan Penambahan *Free Board* pada Bendungan Beton

Pada bendungan beton, berat bangunan ditumpu oleh pondasi. Kedalaman pondasi selain mengacu pada berat bangunan, juga memperhatikan kondisi geologi lapisan tanah yang ada pada lokasi rencana. Penambahan *free board* dan pondasi menambah angka keamanan stabilitas bendungan terhadap guling dan geser. Nilai kemiringan lereng bendungan bervariasi untuk setiap tinggi bendungan yang akan direncanakan. Dalam hal ini, variasi lebar *free board* yang digunakan antara lain 4

meter, 8 meter dan 12 meter. Berikut beberapa hasilnya yang terdapat pada tabel lampiran, dalam kondisi normal terdapat pada ketinggian 150 meter, lebar *free board* 4 meter didapatkan nilai kemiringan lereng bendungan yang aman terhadap geser pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,20. Pada tabel lampiran, dalam kondisi gempa untuk ketinggian 100 meter, lebar *free board* 4 meter didapatkan nilai kemiringan lereng bendungan yang aman terhadap geser pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,20. Sedangkan Untuk nilai kemiringan lereng bendungan terhadap stabilitas guling, pada kondisi normal terdapat pada ketinggian 150 meter, lebar *free board* 4 meter didapatkan nilai pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,25 dan pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,41 untuk kondisi gempa pada ketinggian yang sama.

Untuk lebar *free board* 8 meter, didapatkan nilai kemiringan lereng bendungan yang aman terhadap geser pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,20. Dan dalam kondisi gempa pada ketinggian 125 meter didapatkan nilai kemiringan lereng bendungan yang aman terhadap geser pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,45. Sedangkan Untuk nilai kemiringan lereng bendungan terhadap stabilitas guling, pada kondisi normal terdapat pada ketinggian 150 meter didapatkan nilai pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,20 dan pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,39 untuk kondisi gempa pada ketinggian yang sama. Untuk lebar *free board* 12 meter, didapatkan nilai kemiringan lereng bendungan yang aman terhadap geser pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,20. Dan dalam kondisi gempa pada ketinggian 125 meter didapatkan nilai kemiringan lereng bendungan yang aman terhadap geser pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,20. Sedangkan Untuk nilai kemiringan lereng bendungan terhadap stabilitas guling, pada kondisi normal terdapat pada ketinggian 150 meter didapatkan nilai pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,20 dan pada hilir sebesar 0,45 dan hulu sebesar 0,35 pada ketinggian 150 meter untuk kondisi gempa.

Pada bagian atas bendungan beton biasa digunakan sebagai jalan inspeksi. Penggunaan jalan inspeksi memiliki peranan yang penting pada perencanaan bendungan beton antara lain :

- 1) Fasilitas pemeliharaan
- 2) Menghubungkan 2 lembah, sehingga bisa digunakan sebagai sarana penyeberangan
- 3) Menambah berat sendiri bangunan



Dalam merencanakan lebar jalan inspeksi, bisa digunakan lebar jalan yang sudah ditetapkan oleh Sub Direktorat Perencanaan Teknis Jalan Bipran Bina Marga atau didapat dari perhitungan kebutuhan dimensi jalan.

Untuk menambah nilai keamanan terhadap guling bisa dilakukan langkah perencanaan sebagai berikut :

- 1) Menggunakan lebar jalan inspeksi sesuai kebutuhan.

Jalan inspeksi yang lebar memang memberikan angka keamanan yang cukup agar bendungan menjadi stabil terhadap guling. Jalan inspeksi yang terlalu lebar juga mempengaruhi kebutuhan beton yang akan digunakan. Sehingga jalan yang terlalu lebar dinilai tidak ekonomis.

- 2) Menambah kedalaman pondasi.

Selain mengurangi nilai kemiringan lereng bendungan yang dibutuhkan, semakin dalamnya pondasi juga akan menambah keamanan terhadap guling.

#### **4.6.3 Aplikasi Bentuk Bendungan yang Efektif dalam Meninjau Stabilitas Konstruksi**

Nilai kemiringan lereng bendungan bervariasi untuk setiap tinggi bendungan yang akan direncanakan. Setelah diketahui stabilitas bendungan tanpa tinggi jagaan, maka akan dicoba menganalisis stabilitas bendungan dengan tinggi jagaan (*free board*). Lebar jalan inspeksi, kedalaman pondasi dan kemiringan lereng bendungan mempengaruhi kemampuan bendungan menahan guling. Masing-masing perlakuan harus diperiksa apakah tegangan yang terjadi masih di dalam *kern* atau tidak, untuk mendapatkan stabilitas yang mencukupi. Dari dasar teori yang ada, studi perencanaan pada bendungan beton sederhana ini dititikberatkan pada pemilihan dimensi yang efisien, dimana dimensi bendungan tersebut harus memenuhi stabilitas yang disyaratkan. Oleh karena itu, pemilihan dimensi pada bendungan dicari dengan menggunakan konsep perhitungan dari rumusan angka keamanan (*safety factor*), baik itu terhadap guling maupun geser dimana telah dihitung dalam kondisi normal dan gempa.

Semakin lebar jalan inspeksi yang digunakan, semakin kecil kemiringan lereng bendungan yang digunakan. Kemiringan lereng bendungan yang akan digunakan juga bisa diminimalisir dengan menambah kedalaman pondasi. Nilai kemiringan lereng bendungan yang didapat dari grafik hubungan tinggi bendungan dan faktor kemiringan



lereng sudah aplikatif dalam memenuhi angka keamanan stabilitas bendungan terhadap guling, geser dan daya dukung tanah.



## BAB V

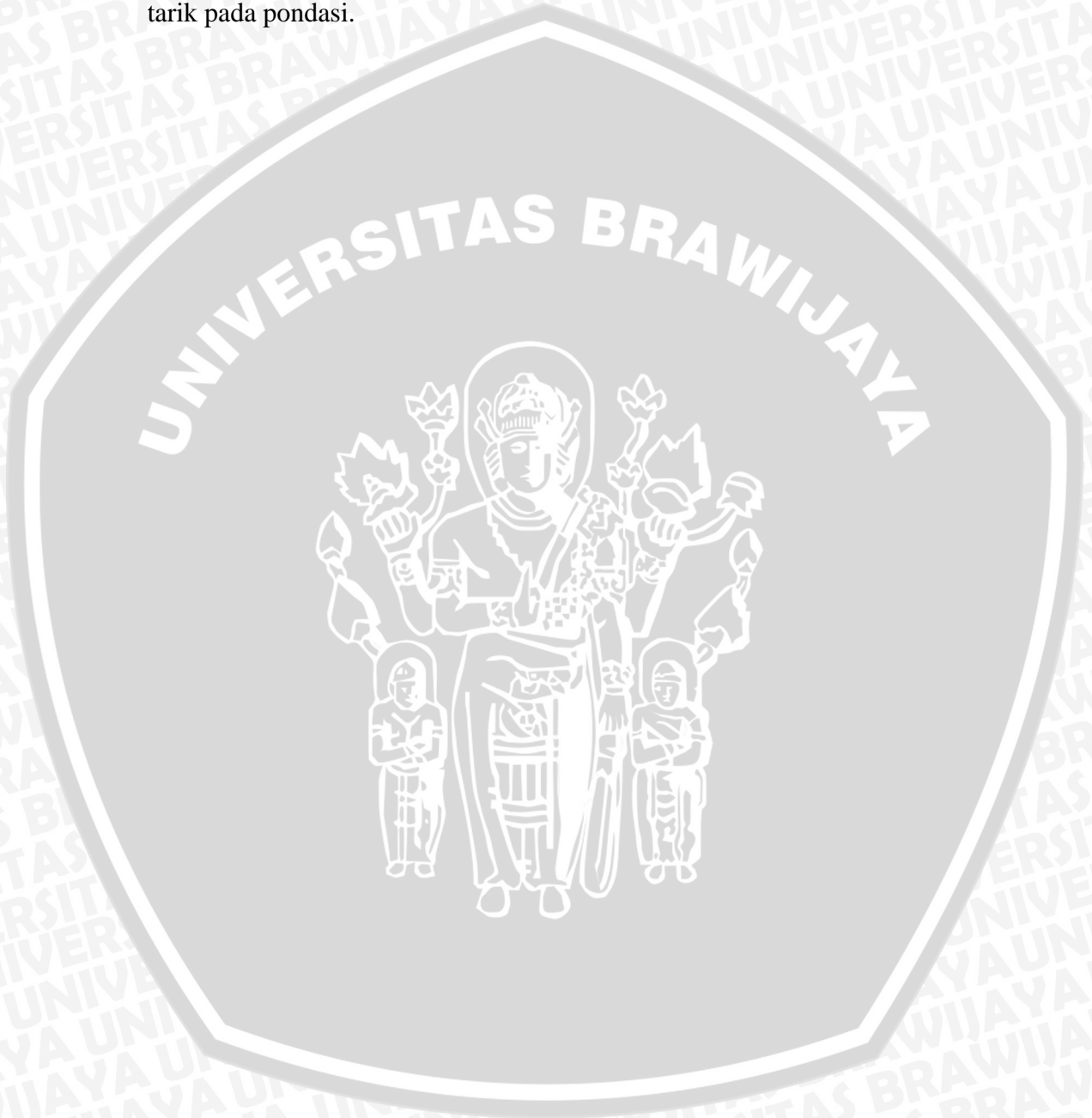
### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Gaya horizontal yang bekerja sangat mempengaruhi faktor kemiringan lereng yang direncanakan. Faktor kemiringan lereng menentukan seberapa lebar dasar sebuah bendungan yang otomatis mempengaruhi gaya vertikal yang akan menahan gaya horizontal yang bekerja. Dalam hal ini, kemiringan lereng bendungan yang digunakan pada bagian hulu dan hilir. Pemilihan dimensi pada bendungan dicari dengan menggunakan konsep perhitungan dari rumusan angka keamanan (*safety factor*), baik itu terhadap guling maupun geser dimana telah dihitung dalam kondisi normal dan gempa.
2. Penambahan *free board* dan pondasi menambah angka keamanan stabilitas bendungan terhadap guling dan geser. Nilai kemiringan lereng bendungan bervariasi untuk setiap tinggi bendungan yang telah direncanakan. Stabilitas bendungan terhadap guling dan geser dengan penambahan *free board* pada bagian atas bendungan, memiliki nilai *safety factor* yang lebih besar dari sebelum adanya penambahan *free board*. Nilai kemiringan lereng diperoleh dari grafik hubungan tinggi bendungan dan faktor kemiringan lereng.
3. Lebar jalan inspeksi, kedalaman pondasi dan kemiringan lereng bendungan mempengaruhi kemampuan bendungan menahan guling. Semakin lebar jalan inspeksi yang digunakan, semakin kecil kemiringan lereng bendungan yang digunakan. Oleh karena itu, pada tahap awal perencanaan lebar jalan inspeksi sebaiknya sesuai kebutuhan untuk menampung volume kendaraan rencana. Kemiringan lereng bendungan yang akan digunakan juga bisa diminimalisir dengan menambah kedalaman pondasi. Nilai kemiringan lereng bendungan yang didapat dari grafik hubungan tinggi bendungan dan faktor kemiringan lereng sudah aplikatif dalam memenuhi angka keamanan stabilitas bendungan terhadap guling, geser dan daya dukung tanah.

## 5.2 Saran

1. Lebar jalan inspeksi yang akan digunakan sebaiknya dipilih berdasarkan kebutuhan agar bendungan tersebut bernilai ekonomis.
2. Apabila terjadi tegangan tarik pada dasar pondasi, sebaiknya ditanggulangi dengan penambahan panjang tapak pondasi maupun pemasangan tulangan tarik pada pondasi.





## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2008. *Sosialisasi Standar Perencanaan Teknis Bidang Jalan Materi "Perencanaan Geometrik Jalan"*. Jakarta: Ditjen Bina Marga
- Fabryandri Y.P. 2011. *Studi Perencanaan Bentuk Bendungan Beton Sederhana yang Paling Efisien*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Prastumi & Anik Masrevaniah. 2008. *Bangunan Air*. Malang: Srikandi
- Sjafei Amri. 2005. *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta: Yayasan John Hi-Tech Idetama.
- Soediby. 1993. *Teknik Bendungan*. Jakarta: Pradnya Paramita
- Suyono Sosrodarsono. 1977. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: Pradya Paramita
- Varshney R. S. 1993. *Concrete Dams*. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co.

