

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Bendung umumnya berfungsi untuk mengendalikan banjir dan menyediakan suplai air pada jaringan irigasi, air baku sarana pembangkit tenaga, pertanian, perikanan, dan rekreasi. Hal tersebut merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bagian infrastruktur dengan sosial, ekonomi dan lingkungan. Secara umum, konstruksi dinyatakan aman apabila memenuhi kriteria salahsatunya stabilitas. Untuk itu dalam pembangunan bendung penting untuk analisis tubuh bendung supaya bendung tersebut tidak roboh. Mengingat pentingnya fungsi bendung, maka harus mempunyai kapasitas volume tampungan air yang besar, dengan mempertimbangkan beberapa hal yang berkaitan dengan faktor keamanan terhadap kestabilan bendung dan ekonomis, sosial ekonomi dan lingkungan. Pertimbangan tersebut meliputi pertimbangan umum dan teknis, serta pemilihan jenis atau tipe bendungan, termasuk data dan informasi yang menunjang tentang kondisi tanah fondasi dan bahan urugan baik jenis, jumlah dan karakteristiknya.

Bendung adalah bangunan melintang sungai yang digunakan untuk meninggikan muka air sungai untuk keperluan irigasi, pemenuhan kebutuhan air baku dan lain-lain. Stabilitas merupakan perhitungan konstruksi untuk menentukan ukuran bendungan agar mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja padanya dalam segala keadaan, dalam hal ini termasuk terjadinya angin kencang dan gempa bumi hebat dan banjir besar. Bendung yang dibangun harus memenuhi persyaratan stabilitas yang menjadi salah satu syarat penting guna menjamin umur bendung dan kemampuannya untuk menaikkan muka air yang akan mengalir.

Stabilitas guling, stabilitas geser dan daya dukung merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam pembangunan suatu bendung. Jika syarat stabilitas tersebut tidak terpenuhi, maka akan mengakibatkan masalah keamanan bendung yang meliputi bendung akan roboh, penurunan bendung, longsor dan retakan. Stabilitas ini dipengaruhi oleh banyak faktor, diantara lain adalah

material pembentuk tubuh bendung, penentuan zona tubuh bendung, kemiringan tebing, beban gempa dan lain-lain.

Dilatar belakang hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian **“Stabilitas Bangunan Utama Bendung PLTM Parmonangan I”**

## **1.2. Rumusan Masalah**

Dari latar belakang di atas dapat ditarik beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana stabilitas bendung terhadap guling
2. Bagaimana stabilitas bendung terhadap terhadap geser
3. Bagaimana stabilitas bendung terhadap daya dukung

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian dapat dilihat sebagai berikut:

1. Mengetahui stabilitas bendung terhadap guling
2. Mengetahui stabilitas bendung terhadap geser
3. Mengetahui stabilitas terhadap daya dukung

## **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah diantaranya sebagai berikut.

1. Menambah wawasan penulis dan pembaca mengenai keamanan tubuh bendung
2. Menjadi bahan referensi bagi mereka yang membutuhkan untuk penelitian yang sama terkait stabilitas suatu bendung, dsb.

## **1.5. Batasan Masalah**

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan pada penelitian ini kali ini menggunakan data sekunder, sehingga tidak ada turun ke lapangan
2. Penelitian ini tidak menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan metode pelaksanaan bangunan

## **1.6 Sistematis Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

**BAB I PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi dasar teori, rumus, dan segala sesuatu yang digunakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang diperoleh dari modul dan hasil penulisan sebelumnya

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi penelitian merupakan pemecahan masalah meliputi persiapan, indentifikasi perumusan masalah, pengumpulan data, analisa data, pemecahan masalah

**BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Berisi data-data yang diolah dengan metode perumusan yang telah ditentukan. Dan tertera pembahasan yang dilakukan peneliti untuk mendapat hasil

**BAB V PENUTUP**

Berisi kesimpulan mengenai hasil dari pengujian yang telah dilakukan serta saran-saran yang berguna bagi perkembangan dan keberhasilan dalam analisis

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Pengertian Bendung**

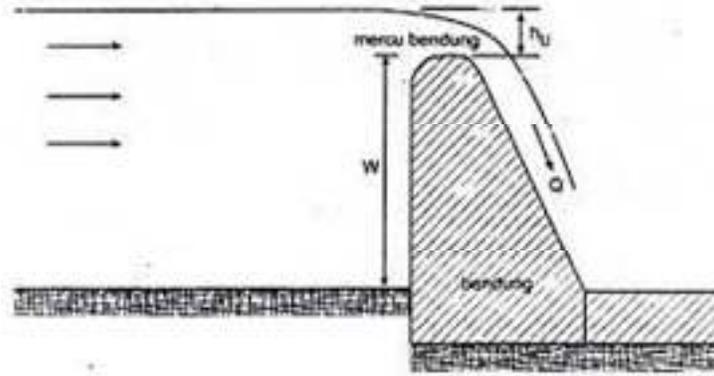
Bendungan berbeda dengan bendung. Bendungan atau dam adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau atau tempat rekreasi. Seringkali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga air. Kebanyakan dam juga memiliki bagian disebut pintu air yang tidak diinginkan secara bertahap dan berkelanjutan. Sedangkan bendung adalah bangunan air yang melintang sungai dengan tujuan untuk meninggikan muka air sungai sehingga aliran sungai bisa disadap (pengambilan) dan alirkan secara gravitasi untuk memenuhi kebutuhan air irigasi, atau yang saat ini berkembang bendung juga dimanfaatkan untuk PLTA.

Air yang ditampung akibat dibangunnya bendungan biasanya digunakan untuk irigasi, pasok air baku untuk air minum, industri dan perkotaan, perikanan serta pembangkit listrik. Manfaat lain bendungan adalah untuk pengendalian banjir dan pariwisata. Disamping untuk menampung air, bendungan juga dibangun untuk menampung material lain, seperti buangan/limbah pertambangan dan lahar dingin. Bendungan untuk menahan lahar dingin disebut juga bendungan sabo (sabo dam).

#### **2.2. Komponen Utama Bendung**

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

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



Gambar 2.1 Mercu Bendungan  
(Sumber: *Standard Perencanaan Irigasi KP-02*)

2. Bangunan intake, antara lain terdiri dari lantai/ambang dasar, pintu, dinding banjir, pilar penempatan pintu, saringan sampah, jembatan pelayanan, rumah pintu dan perlengkapan lainnya. bangunan ini terletak tegak lurus ( $90^\circ$ ) atau menyudut ( $40 - 60^\circ$ ) terhadap sumbu bangunan bilas. Diupayakan berada di tikungan luar aliran sungai, sehingga dapat mengurangi sedimen yang akan masuk ke intake.
3. Bangunan pembilas, dengan indersluice atau tanpa indersluice, pilar penempatan pintu, saringan sampah, pintu bilas, jembatan pelayan, rumah pintu, saringan batu dan perlengkapan lainnya. Terletak berdampingan dan satu kesatuan dengan intake, di sisi bentang sungai dan bagian luar tembok pangkal bendung, dan bersama-sama dengan intake, dan tembok pangkal udik yang diletakkan sedemikian rupa dapat membentuk suatu tikungan luar aliran (codial flow). Aliran ini akan melemparkan angkutan sedimen ke arah intake/bangunan pembilas menuju tubuh bendung, sehingga akan mengurangi jumlah angkutan sedimen dasar masuk ke intake.
4. Bangunan pelengkap lain yang harus ada pada bendung antara lain yaitu tembok pangkal, sayap bendung, lantai udik dan dinding tirai, pengarah arus tanggul banjir dan tanggul penutup atau tanpa tanggul, penangkap sedimen atau tanpa penangkap sedimen, tangga, penduga muka air, dan sebagainya. (Mawardi dan Memet 2010).
5. Kolam olak adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk melihat energy yang timbul di dalam tipe superkritis udara yang melewati pelimpah dalam sebuah konstruksi bendungan dibangun di aliran sungai baik di palung maupun di sod-detan, di sebelah hilir bendung yang akan terjadi lancatan.

### 2.3. Stabilitas Bendung

Stabilitas bendung merupakan perhitungan konstruksi untuk menentukan ukuran bendung agar mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja padanya dalam segala keadaan, dalam hal ini termasuk terjadinya angin kencang dan gempa bumi hebat dan banjir besar. Syarat-syarat stabilitas konstruksi seperti lereng di sebelah hulu dan hilir bendung tidak mudah longsor, harus aman terhadap geseran, harus aman terhadap rembesan, dan harus aman terhadap penurunan bendung. Perhitungan konstruksi yang dilakukan untuk menentukan dimensi/ ukuran bendung (*weir*) supaya mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja pada bendung dalam keadaan apapun, termasuk banjir besar dan gempa bumi. Penyelidikan geologi teknik, ditujukan untuk mengetahui apakah pondasi bendung cukup kuat, apakah rembesan airnya tidak membahayakan konstruksi, dan apakah bendungan akan dapat dioperasikan bagi penggunaan airnya dalam jangka waktu yang lama minimal 30 tahun (Mawardi & Memet, 2010).

#### **2.4. Syarat Stabilitas Bendung**

Syarat-syarat stabilitas bendung antara lain:

1. Pada konstruksi batu kali dengan selimut beton, tidak boleh terjadi tegangan tarik
2. Momen tahan lebih besar dari pada momen guling
3. Konstruksi tidak boleh menggeser
4. Tegangan tanah yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan tanah yang diijinkan
5. Setiap titik pada seluruh konstruksi harus tidak boleh terangkat oleh gaya ke atas (*balance* antara tekanan ke atas dan tekanan ke bawah).

Stabilitas bendung akan terancam dari bahaya-bahaya sebagai berikut:

1. Bahaya geser/gelincir (*sliding*)
  - a. Sepanjang sendi horizontal atau hampir horizontal di atas pondasi
  - b. Sepanjang pondasi
  - c. Sepanjang kampuh horizontal atau hampir horizontal dalam pondasi

Bendungan dinyatakan stabil terhadap bahaya geser apabila hasil perbandingan antara jumlah gaya vertikal dikalikan sudut geser tanah dengan jumlah gaya-gaya horizontal harus lebih besar dari nilai keamanan yang ditentukan.

2. Bahaya Guling (*Overturning*)
  - a. Didalam bendungan

- b. Pada dasar (*base*)
- c. Pada bidang di bawah dasar

Bagunan akan aman terhadap guling, apabila semua gaya bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horizontal, termasuk gaya angkat, harus memotong bidang guling dan tidak boleh ada tarikan pada bidang irisan manapun, tiap bagian bangunan diandaikan berdiri sendiri dan tidak mungkin ada distribusi gaya-gaya melalui momen lentur.

## 2.5. Dasar Pembebanan Bendung

Dalam perencanaan konstruksi suatu bangunan, analisa stabilitas selalu diperhitungkan. Kontrol-kontrol stabilitas selalu diperhitungkan terhadap: stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser dan stabilitas terhadap daya dukung tanah. pada perhitungannya, stabilitas bendung ditinjau dalam keadaan:

1. Kondisi air normal, tanpa sedimen, tanpa gempa
2. Kondisi air normal, sedimen penuh, tanpa gempa
3. Kondisi air banjir, sedimen penuh, gempa

Gaya-gaya yang bekerja pada bendung:

1. Tekanan air gaya hidrostatik
2. Tekanan lumpur
3. Gaya gempa
4. Berat bangunan sendiri
5. Reaksi pondasi (daya dukung)

### 2.5.1. Tekanan Air Hidrostatik

Gaya tekanan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatik dan gaya hidrodinamik. Tekanan hidrostatik adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air. Tekanan air akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan, oleh karena itu agar perhitungannya lebih mudah gaya horisontal dan vertikal dikerjakan secara terpisah. Tekanan air dinamik jarang diperhitungkan untuk stabilitas bangunan pengelak dengan tinggi energi rendah. Bangunan pengelak mendapat tekanan air bukan hanya pada permukaan luarnya, tetapi juga pada dasarnya dan dalam tubuh bendung itu. Gaya tekan ke atas, yakni istilah umum untuk tekanan air dalam, menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan di atasnya.

$$W_u = \gamma_w \left[ h_2 + \frac{1}{2} \xi (h_1 - h_2) \right] A \quad (2.1)$$

dimana:

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

$\gamma_w$  : Berat jenis air, ( $\text{kN/m}^3$ )

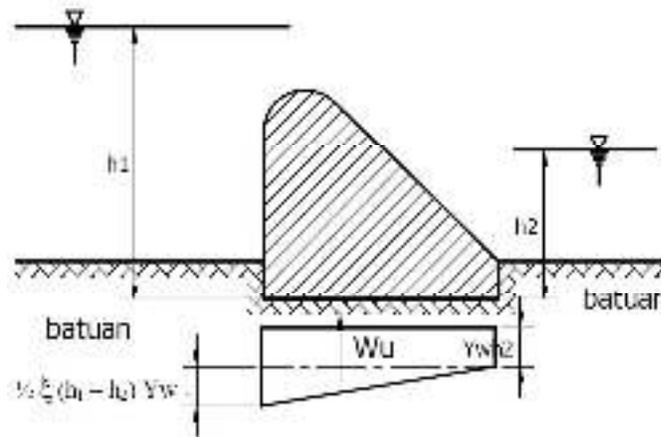
$h_2$  : kedalaman air hilir, (m)

$\xi$  : proporsi tekanan (proportion of net head)

$h_1$  : kedalaman air hulu, (m)

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

$W_u$  : gaya tekan ke atas resultant, (kN)



Gambar 2.2 Gaya Angkat Untuk Bangunan yang Dibangun Pada Pondasi Buatan  
(Sumber : Standard Perencanaan Irigasi KP-02)

Tabel 2.1 Harga-Harga  $\xi$

Tipe Pondasi Buatan	$\xi$ (proporsi tekanan)
Berlapis horizontal	1,00
Sedang, pejal (massive)	0,67
Baik, pejal	0,5

(Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02)

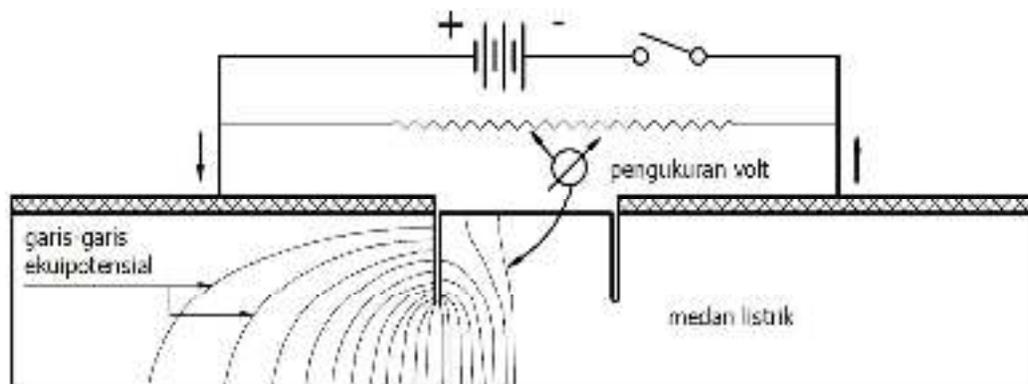
Gaya tekan ke atas untuk bangunan pada permukaan tanah dasar (subgrade) lebih rumit. Gaya angkat pada pondasi itu dapat ditemukan dengan membuat jaringan aliran (flownet), atau dengan asumsi-asumsi yang digunakan oleh Lane untuk teori angka rembesan (weighted creep theory).

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

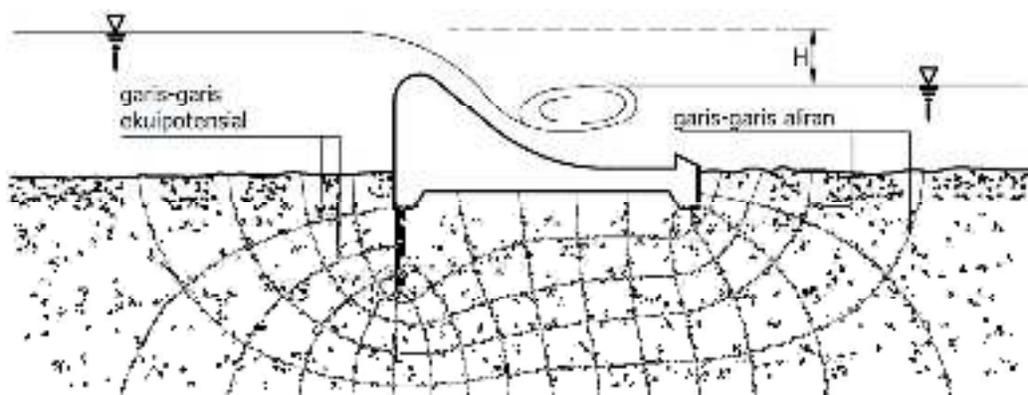
Jaringan aliran dapat dibuat dengan:

- (1) plot dengan tangan
- (2) analog listrik atau
- (3) menggunakan metode numeris ( *numerical method*) pada komputer.

Dalam metode analog listrik, aliran air melalui pondasi dibandingkan dengan aliran listrik melalui medan listrik daya-antar konstan. Besarnya voltase sesuai dengan tinggi iezometrik, daya-antar dengan kelulusan tanah dan aliran listrik dengan kecepatan air (lihat Gambar 2.2) Untuk pembuatan jaringan aliran bagi bangunan utama yang dijelaskan disini, biasanya cukup diplot dengan tangan saja. Contoh jaringan aliran di bawah bendung pelimpah diberikan pada Gambar 2.3.

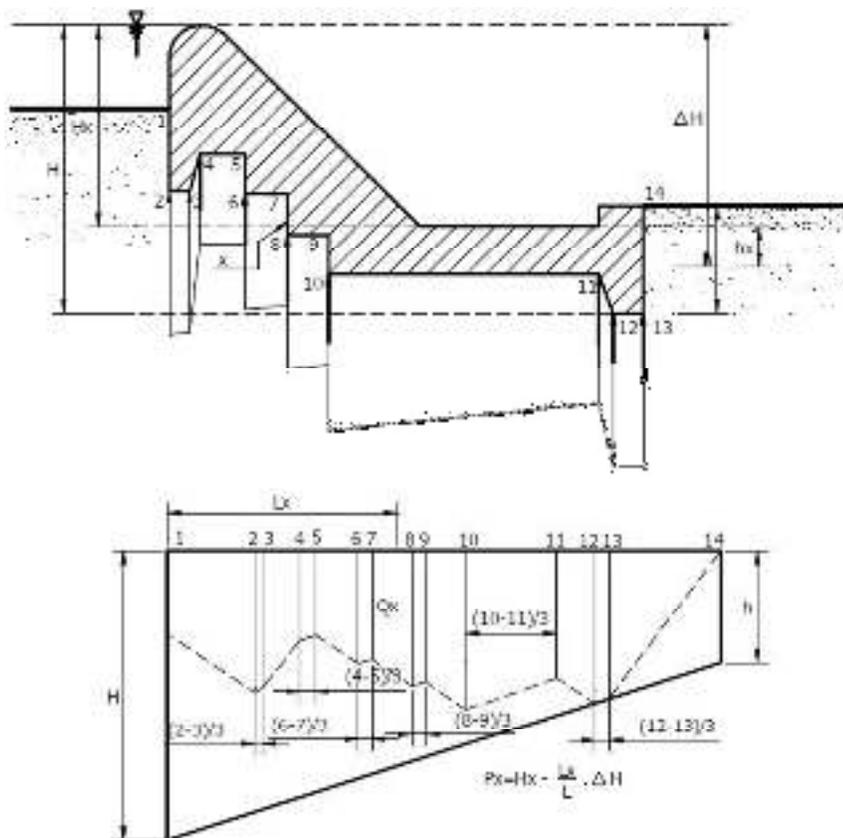


Gambar 2.3 Konstruksi Jaringan Aliran Menggunakan Analog Listrik  
(Sumber : Standard Perencanaan Irigasi KP-02)



Gambar 2.4 Contoh Jaringan Aliran dibawah Dam Pasangan Batu Pasir  
 (Sumber : Standard Perencanaan Irigasi KP-02)

Dalam teori angka rembesan Lane, diandaikan bahwa bidang horisontal memiliki daya tahan terhadap aliran (rembesan) 3 kali lebih lemah dibandingkan dengan bidang vertikal. Ini dapat dipakai untuk menghitung gaya tekan ke atas di bawah bendung dengan cara membagi beda tinggi energi pada bendung sesuai dengan panjang relatif disepanjang pondasi.



(Sumber : Standard Perencanaan Irigasi KP-02)

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

$$P_x = H_x \times \frac{Lx}{L} \times \Delta H \quad (2.2)$$

dimana:

$P_x$  : gaya angkat pada x, (kg/m<sup>2</sup>)

L : panjang total bidang kontak bendung dan tanah dibawah, (m)

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

$\Delta H$  : beda tinggi energy, (m)

$H_x$  : tinggi energy di x, (m)

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

### 2.5.2. Tekanan Lumpur

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

$$P_s = \frac{\gamma_s \cdot h^2}{2} \left( \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) \quad (2.3)$$

dimana:

$P_s$  : Gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horizontal

$\gamma_s$  : berat lumpur, (kN)

h : dalamnya lumpur, (m)

$\phi$  : sudut gesekan dalam, derajat (°)

Beberapa andaian atau asumsi dapat dibuat seperti berikut:

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

(2.4)

$\gamma_s'$  : Berat volume kering tanah, (t/m<sup>2</sup>)

G : berat volume butir, (t/m<sup>2</sup>)

Sudut gesekan dalam untuk mencari gaya tekan lumpur:

$$P_s = 1,67 \times h^2$$

(2.5)

Rumus lain untuk mencari gaya tekan lumpur:

$$P_s = Luas \times \gamma_{lumpur} \times Ka \times 1 \text{ meter lebar bendung} \quad (2.6)$$

dengan

$P_s$  : besar gaya lumpur, (ton)

$\gamma$  : berat lumpur, ( $t/m^2$ )

$\phi$  : sudut geser dalam, ( $^\circ$ )

### 2.5.3. Gaya Gempa

Gaya-gaya akibat gempa adalah gaya-gaya yang terjadi terhadap tubuh bendung akibat terjadinya gempa, sedangkan prinsip perhitungan gaya-gayanya adalah berat sendiri dari setiap segmen yang diperhitungkan dikalikan dengan koefisien gempa yang nilai koefisiennya sesuai dengan posisi bendung terletak pada zona gempa berapa. Ada beberapa harga-harga gempa yang harus diperhatikan dalam parameter bangunan. Faktor minimum yang akan dipertimbangkan adalah 0,1 g (parameter gravitasi) sebagai harga percepatan. Koefisien gempa dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$a_d = n(a_c \times z)^m \quad (2.7)$$

$$E = \frac{a_d}{g} \quad (2.8)$$

dimana:

$a_d$  : percepatan gempa rencana,  $cm/dt^2$

$n, m$  : koefisien untuk jenis tanah (lihat tabel 2.2)

$a_c$  : percepatan kecut dasar,  $cm/dt^2$  (untuk harga periode ulang lihat tabel 2.3)

$E$  : koefisien gempa

$g$  : percepatan gravitasi,  $cm/dt^2$  (981)

$z$  : faktor yang bergantung kepada letak geografis (koefisien zona lihat tabel

Tabel 2.2 Koefisien Jenis Tanah

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

(Sumber: Standard Perencanaan Irigasi KP-06)

Tabel 2.3 Periode Ulang dan Pecepatan Dasar Gempa,  $a_c$

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

(Sumber; Standard Perencanaan Irigasi KP-06)

Tabel 2.4 Koefisien Zona Gempa pada Zona A,B,C,D,E,F

Zona	KOEFISIEN ZONA (Z)
A	0,10 – 0,30
B	0,30 – 0,60
C	0,60 – 0,90
D	0,90 – 1,20
E	1,20 – 2,40
F	1,40 – 1,60

(Sumber: Standard Perencanaan Irigasi KP-06)

#### 2.5.4. Berat Bangunan

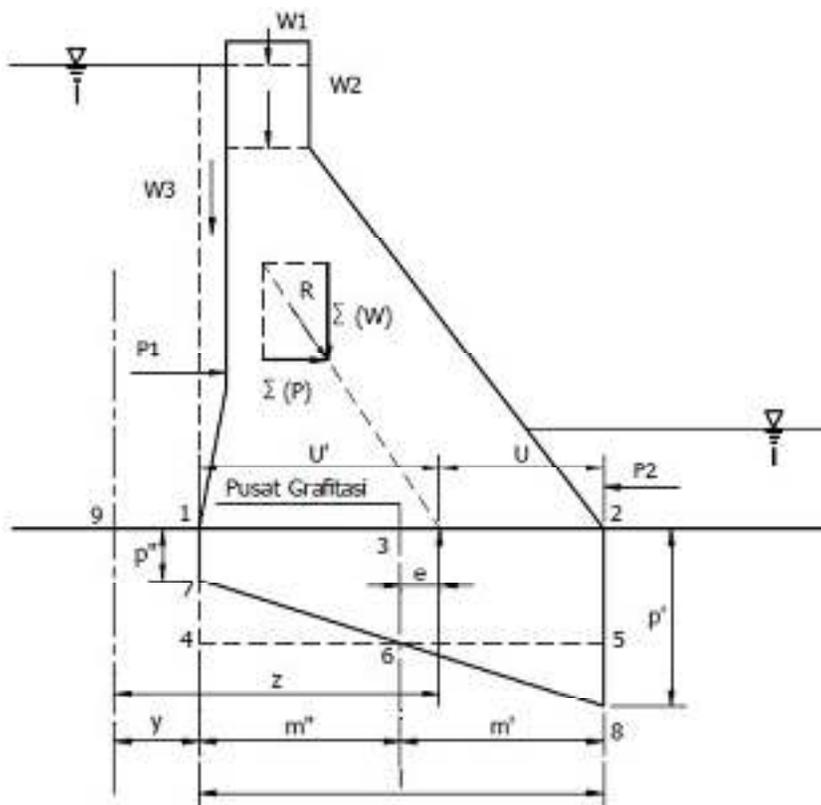
Berat bangunan bergantung kepada bahan yang dipakai untuk membuat bangunan itu. Untuk tujuan-tujuan perencanaan pendahuluan, boleh dipakai harga-harga berat volume di bawah ini.

pasangan batu kali	22 kN/m <sup>3</sup> ( $\approx$ 2.200 kg/m <sup>3</sup> )
beton tumbuk	23 kN/m <sup>3</sup> ( $\approx$ 2.300 kg/m <sup>3</sup> )
beton bertulang	24 kN/m <sup>3</sup> ( $\approx$ 2.400 kg/m <sup>3</sup> )

Berat volume beton tumbuk bergantung kepada berat volume agregat serta ukuran maksimum kerikil yang digunakan. Untuk ukuran maksimum agregat 150 mm dengan berat volume 2,65, berat volumenya lebih dari 24 kN/m<sup>3</sup> ( $\approx$  2.400 kg/m<sup>3</sup>).

#### 2.5.5. Reaksi Pondasi

Reaksi pondasi boleh diandaikan berbentuk trapezium dan tersebar secara linear.



Gambar 2.6 Unsur-Unsur Persamaan Distribusi Tekanan pada Pondasi  
(Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-02)

Berdasarkan gambar 2.5 rumus-rumus berikut dapat diturunkan dengan mekanika sederhana.

Tekanan vertikal pondasi adalah:

$$p = \frac{\Sigma(W)}{A} + \frac{\Sigma(W)e}{A}m \quad (2.9)$$

dimana:

p = tekanan vertikal pondasi

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

A = Luas dasar, (m<sup>2</sup>)

e = Eksentrisitas pembebanan atau jarak dari pusat gravitasi dasar (*base*) sampai titik potong *resultante* dengan dasar

I = momen kelembaban (*moment of inertia*) dasar sekitar gravitasi, (kg.m<sup>2</sup>)

m = jarak dari titik pusat luas dasar sampai ke titik dimana tekanan dikehendaki (m)

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

$$p' = \frac{\Sigma(W)}{1} \left\{ 1 + \frac{12e}{L^2} m \right\} \quad (2.10)$$

sedangkan tekanan vertikal pondasi pada ujung bangunan ditentukan dengan rumus:

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

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

$$p'' = \frac{\Sigma(W)}{L} \left\{ 1 + \frac{6e}{L^2} \right\} \quad (2.12)$$

bila harga e dari gambar 2.5 dan persamaan (2.9) lebih besar dari 1/6 (lihat pula gambar 2.5), maka akan dihasilkan tekanan negative pada ujung bangunan. biasanya tarikan tidak diizinkan, yang memerlukan irisan yang mempunyai dasar segi empat sehingga *resultante* untuk semua kondisi pembebanan jatuh pada daerah ini.

## 2.6 Kombinasi Pembebanan

Berikut ini tabel kombinasi pembebanan

Tabel 2.5 Menunjukkan Kombinasi Pembebanan dan Kenaikan dalam Tegangan Izin Rencana

No	Kombinasi Pembebanan	Kenaikan Tegangan Izin
1	M + H + K + T + Th <sub>n</sub>	0%

2	$M + H + K + T + Th_n + G$	20%
3	$M + H + K + T + Th_b$	20%
4	$M + H + K + T + Th_b + G$	50%
5	$M + H + K + T + Th_b + S_s$	30%

(Sumber: Standard Perencanaan irigasi KP-06)

Keterangan:

M = Beban mati

H = Beban hidup

K = Beban kejut

T = Beban tanah

$Th_n$  = Tekanan air normal

$Th_b$  = Tekanan air selama banjir

G = Beban gempa

$S_s$  = Pembebanan sementara selama pelaksanaan

## 2.7 Faktor Keamanan

Harga-harga faktor keamanan terhadap bahaya guling (*overturning*) diberikan pada tabel 2.6.

Untuk berbagai kombinasi pembebanan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.5.

Tabel 2.6 Faktor Keamanan  $M_t / M_g \leq F_g$  Terhadap Guling

Kombinasi Pembebanan	Faktor Keamanan ( $F_g$ )
1	1,5
2	1,3
3	1,3
4	1,1
5	1,2

(Sumber: Standard Perencanaan Irigasi KP-06)

dimana:

$M_g$  = Momen total sesungguhnya yang menyebabkan terjadinya guling

$M_t$  = Momen tahanan terhadap guling

$F_g$  = Faktor keamanan terhadap guling

Harga-harga faktor keamanan terhadap gelincir (*Sliding*)  $F_s$  diberikan pada tabel 2.7. Untuk berbagai kombinasi pembebanan.

Tabel 2.7 Faktor Keamanan Terhadap Gelincir /  $r \leq F_s$

Kombinasi Pembebanan	Faktor Keamanan ( $F_s$ )
1	1,5
2	1,3
3	1,3
4	1,1
5	1,2

(Sumber: *Standard Perencanaan Irigasi KP-06*)

Faktor keamanan terhadap gaya tekan ke atas sebaiknya diambil antara 1,1 dan 1,5

## 2.8 Kontrol Stabilitas

Penyebab runtuhnya suatu bangunan grafitasi yaitu:

1. Geser (*sliding*)
  - a. Sepanjang sendi horizontal atau hampir horizontal di atas pondasi
  - b. Sepanjang pondasi
  - c. Sepanjang kampuh horizontal atau hampir horizontal dalam pondasi
2. Guling (*overturning*)
  - a. Di dalam bendung
  - b. Pada dasar (*base*)
  - c. Pada bidang dibawah dasar
3. Daya dukung tanah

### 2.8.1 Keamanan Terhadap Geser

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

$$\frac{\Sigma(H)}{\Sigma(V - u)} = \tan \theta < \frac{f}{S} \quad (2.13)$$

$$SF = f \frac{\Sigma V}{\Sigma H} \geq 1,5 \quad (\text{untuk kondisi normal}) \quad (2.14)$$

$$SF = f \frac{\Sigma V}{\Sigma H} \geq 1,25 \quad (\text{untuk kondisi normal}) \quad (2.15)$$

dimana:

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

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

f : koefisien gesekan

S : faktor keamanan

$\Sigma V$  : Keseluruhan gaya vertikal yang bekerja pada bangunan, kN

Harga-harga perkiraan untuk koefisien gesekan f diberikan pada tabel 2.4

Tabel 2.8 Harga-Harga Perkiraan Untuk Koefisien Gesekan

Bahan	f
Pasangan batu pada pasangan batu	0,6 – 0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,50
Pasir	0,40
Lempung	0,30

(Sumber: Standard Perencanaan Irigasi KP-02)

Untuk bangunan-bangunan kecil, seperti bangunan-bangunan yang akan diteliti, di mana berkurangnya umur bangunan, kerusakan besar dan terjadinya bencana besar belum

dipertimbangkan, harga-harga faktor keamanan (S) yang dapat diterima adalah: 2,0 untuk kondisi pembebanan normal dan 1,25 untuk kondisi pembebanan ekstrem. Kondisi pembebanan ekstrem dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Tak ada aliran di atas mercu selama gempa, atau
- b. banjir rencana maksimum

Apabila, untuk bangunan-bangunan yang terbuat dari beton, harga yang aman untuk faktor gelincir yang hanya didasarkan pada gesekan saja (persamaan 2.11) ternyata terlampaui, maka bangunan bisa dianggap aman jika faktor keamanan dari rumus itu yang mencakup geser (persamaan 2.12), sama dengan atau lebih besar dari harga-harga faktor keamanan yang sudah ditentukan.

$$\Sigma(H) \leq \frac{f\Sigma(V-U) + cA}{S} \quad (2.16)$$

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

A = Luas dasar yang dipertimbangkan, m<sup>2</sup>

Harga-harga faktor keamanan jika geser juga dicakup, sama dengan harga-harga yang hanya mencakup gesekan saja, yakni 2,0 untuk kondisi normal dan kondisi 1,25 untuk komdisi ekstrem. Untuk beton, e (satuan kekuatan geser) boleh diambil 1.100 kN/m<sup>2</sup> (=110 Tf/m<sup>2</sup>) persamaan 2.12 mungkin hanya digunakan untuk bagunan itu sendiri. Jika rumus untuk pondasi tersebut akan digunakan, perencanaan harus yakin bahwa kuat dan berkualitas baik berdasarkan hasil pengujian. Untuk bahan pondasi nonkohesi, harus digunakan rumus yang hanya mencakup gesekan saja (persamaan 2.11)

### 2.8.2. Keamanan Terhadap Guling

Agar bangunan aman terhadap guling, maka resultante semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horisontal, termasuk gaya angkat, harus memotong bidang ini pada teras. Tidak boleh ada tarikan pada bidang irisan mana pun. Besarnya tegangan dalam bangunan dan pondasi harus tetap dipertahankan pada harga-harga maksimal yang dianjurkan.

Harga-harga untuk beton adalah sekitar 4,0N/mm<sup>2</sup> atau 40 kg/cm<sup>2</sup>

Pasangan batu sebaiknya mempunyai kekuatan minimum 1,5 sampai 3,0 N/mm<sup>2</sup> atau 15 sampai 30 kgf/cm<sup>2</sup>.

Untuk menghitung stabilitas guling, dapat menggunakan rumus beriku:

$$SF = \frac{\Sigma M_T}{\Sigma M_D} \geq 1,5 \quad (\text{Untuk kondisi normal}) \quad (2.17)$$

$$SF = \frac{\Sigma M_T}{\Sigma M_D} \geq 1,25 \quad (\text{Untuk kondisi banjir}) \quad (2.18)$$

dimana:

$\Sigma M_T$  = keseluruhan momen tahanan,  $\text{kN/m}^2$

$\Sigma M_D$  = keseluruhan momen dorong,  $\text{kN/m}^2$

Tiap bagian bangunan diandaikan berdiri sendiri dan tidak mungkin ada distribusi gaya-gaya melalui momen lentur (bending moment). Oleh sebab itu, tebal lantai kolom olak dihitung sebagai berikut (lihat Gambar 2.5):

$$d_x \geq S \frac{P_x - W_x}{\gamma} \quad (2.19)$$

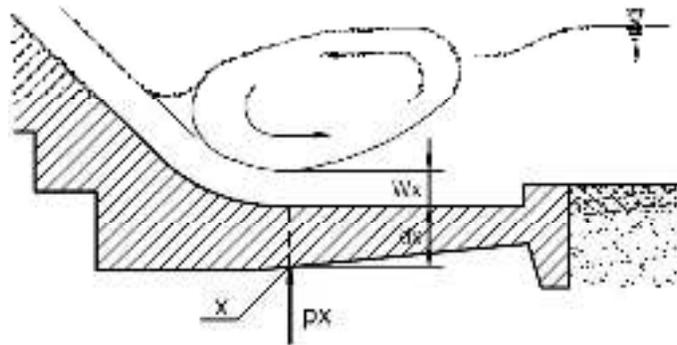
dimana:

$d_x$  : tebal lantai pada titik, (m)

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

$W_x$  : kedalaman pada titik x, (m)

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



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

Gambar 2.7 Tebal Lantai Kolom Olak  
(Sumber: Standard Perencanaan Irigasi KP-02)

### 2.8.3. Daya dukung tanah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan tekanan atau beban bangunan pada tanah dengan aman tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan penurunan

berlebihan (Najooan, 2020). Oleh karena itu perlu dilakukan analisis stabilitas daya dukung tanah sebagai syarat bangunan tersebut aman. adapun rumus-rumus yang digunakan sebagai berikut:

a. Tekanan tanah

- Tekanan tanah aktif

$$P_a = \frac{1}{2} \times (K_a \times \gamma_{\text{tanah}} \times H) \times (H) \quad (2.20)$$

- Tekanan tanah pasif

$$P_p = \frac{1}{2} \times (K_p \times \gamma_{\text{tanah}} \times H) \times (H) \quad (2.21)$$

Tekanan tanah statis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{as} = Ka \times \gamma_t \times h^2 + \frac{1}{2} \times Ka \times \gamma_t \times h^2 \quad (2.22)$$

Tekanan tanah dinamis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_d = 0,5 \times \gamma_t \times ce \quad (2.23)$$

dimana:

$P_a$  : Tekanan tanah aktif (tm)

$P_p$  : Tekanan tanah pasif (tm)

$P_{as}$  : Tekanan tanah statis (tm)

$P_d$  : Tekanan tanah dinamis (tm)

$h$  : Tinggi jatuh (m)

$\gamma_t$  : Berat jenis tanah

$ce$  :  $(1 - \sin \theta) / (1 + \sin \theta)$

b. Tekanan sedimen

$$P_s = 0,5 \times (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times Cs \times h^2 \quad (2.24)$$

dimana:

$Cs$  : Koefisien takanan tanah

c. Koefisien tekanan tanah aktif ( $K_a$ )

$$K_a = \frac{(1 - \sin \theta)}{(1 + \sin \theta)} \quad (2.25)$$

dimana:

$\theta$  : sudut geser tanah

d. Koefisien tanah pasif ( $K_p$ )

$$K_p = 1 / K_a \quad (2.26)$$

e. Daya dukung tanah bawah untuk pondasi

Kedudukan pondasi bangunan haruslah pada tanah keras yang sehingga dapat menahan bobot konstruksi bangunan atasnya. Oleh sebab itu perlu adanya kontrol terhadap daya dukung tanah, oleh Erman (2002), digunakan rumus:

$$\sigma_{1,2} = \frac{V}{B} \left( 1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (2.27)$$

Dengan:

$\sigma_{1,2}$  = tegangan tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

V = gaya vertikal total (kN)

B = lebar pondasi (m)

e = eksentrisitas

Daya dukung dapat dicari dari rumus berikut (dari *Terzaghi, 1943*):

$$q_{ult} = C \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_y \quad (2.28)$$

dimana:

$q_{ult}$  : Daya dukung batas,  $\text{kN/m}^2$

$N_c$ ,  $N_q$  dan  $N_y$  adalah faktor-faktor daya dukung tak berdimensi diberikan pada Tabel 2.10

$\gamma$  : Berat volume tanah,  $\text{kN/m}^2$

B : Lebar telapak pondasi, m

Harga-harga perkiraan daya dukung izin disajikan pada tabel 2.6

Tabel 2.9 Harga-Harga Perkiraan Daya Dukung Izin

Jenis	Daya Dukung	
	$\text{kN/m}^2$	$\text{Kgf/cm}^2$
Batu sangat keras	10.000	100
Batu kapur/batu pasir keras	4.000	40
Kerikil berkerapatan sedang atau pasir & kerikil	200-600	2-6

Pasir berkerapatan sedang	100-300	1-3
Lempung kenyal	150-300	1,5-3
Lempung teguh	75-150	0,75-1,5
Lempung lunak dan lanau	<75	<0,75

(Sumber: Standard Perencanaan Irigasi KP-06)

Tabel 2.10 Faktor-Faktor Daya Dukung untuk Persamaan Terzaghi

$\Phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c'$	$N_q'$	$N_\gamma'$
0	5,71	1	0	3,81	1	0
5	7,32	1,64	0	4,48	1,39	0
10	9,64	2,7	1,2	5,34	1,94	0
15	12,8	4,44	2,4	6,46	2,73	1,2
20	17,7	7,43	4,6	7,9	3,88	2
25	25,1	12,7	9,2	9,86	5,6	3,3
30	37,2	22,5	20	12,7	8,32	5,4
35	57,8	41,4	44	16,8	12,8	9,6
40	95,6	81,2	114	23,2	20,5	19,1
45	172	173	320	34,1	35,1	27

(Sumber: Standard Perencanaan Irigasi KP-06)

#### f. Kontrol Terhadap Eksentrisitas

Eksentrisitas yang terjadi pada bendung dapat pula menimbulkan penggulingan dan penggeseran, oleh karena itu dalam perencanaan bendung perlu adanya kontrol eksentrisitas titik berat bangunan bendung. dalam Eman (2002) digunakan rumus:

$$e = \frac{B}{2} - \left( \frac{MT - MG}{V} \right) < \frac{B}{6} \quad (2.29)$$

Dimana:

e = besarnya eksentrisitas

B = lebar pondasi

MT = momen tahan (kNm)

MG = momen guling (kNm)

V = keseluruhan gaya vertikal yang bekerja pada bangunan (kN)

#### 2.8.4 Stabilitas Terhadap Erosi bawah Tanah (Piping)

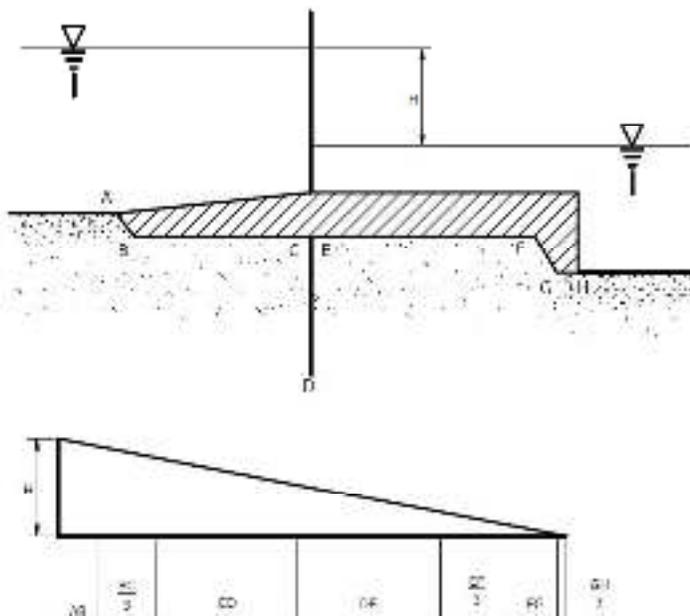
Bangunan-bangunan utama seperti bendung dan bendung gerak harus dicek stabilitasnya terhadap erosi bawah tanah dan bahaya runtuh akibat naiknya dasar galian (*heave*) atau rekahnya pangkal hilir bangunan. Bahaya terjadinya erosi bawah tanah dapat dianjurkan dicek dengan jalan membuat jaringan aliran/*flownet* (lihat pasal 2.4.2). Dalam hal ditemui kesulitan berupa keterbatasan waktu pengerjaan dan tidak tersedianya perangkat lunak untuk menganalisa jaringan aliran, maka perhitungan dengan beberapa metode empiris dapat diterapkan, seperti:

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

Metode Lane, disebut metode angka rembesan Lane (*weighted creep ratio method*), adalah yang dianjurkan untuk mengecek bangunan-bangunan utama untuk mengetahui adanya erosi bawah tanah. Metode ini memberikan hasil yang aman dan mudah dipakai. Untuk bangunan-bangunan yang relatif kecil, metode-metode lain mungkin dapat memberikan hasil-hasil yang lebih baik, tetapi penggunaannya lebih sulit. Metode Lane diilustrasikan pada Gambar 2.6 dan memanfaatkan Tabel 2.5. Metode ini membandingkan panjang jalur rembesan di bawah bangunan di sepanjang bidang kontak bangunan/pondasi dengan beda tinggi muka air antara kedua sisi bangunan. Di sepanjang jalur perkolasi ini, kemiringan yang lebih curam dari 45° dianggap vertikal dan yang kurang dari 45° dianggap horisontal. Jalur vertikal dianggap memiliki daya tahan terhadap aliran 3 kali lebih kuat daripada jalur horisontal. Oleh karena itu, maka persamaan 2.26:

$$C_L = \frac{\sum L_V + 1/3 \sum L_H}{H} \quad (2.30)$$

dimana:



Gambar 2.8 Metode Angka Rembesan Lane  
(Sumber: *Standard Perencanaan Irigasi KP-02*)

$C_L$  : Angka rembesan lane (lihat Tabel 2.5)

$L_V$  : jumlah panjang vertikal, (m)

$L_H$  : jumlah panjang horizontal, (m)

$H$  : beda tinggi muka air, (m)

Tabel 2.11 Harga-Harga Minimum Angka Rembesan Lane ( $C_L$ )

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

(Sumber: *Standard Perencanaan Irigasi KP-02*)

Angka-angka rembesan padat tabel 2.5 diatas sebaiknya dipakai:

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

Menurut Creagen, Justin dan Hinds, hal ini menunjukkan diperlukannya keamanan yang lebih besar jika telah dilakukan penyelidikan detail. Untuk mengatasi erosi bawah tanah elevasi dasar hilir harus diasumsikan pada pangkal koperan hilir. Untuk menghitung gaya tekan ke atas, dasar hilir diasumsikan di bagian atas ambang ujung. Keamanan terhadap rekah bagian hilir bangunan bisa dicek dengan rumus berikut:

$$S = \frac{s(1 + a/s)}{h_s} \quad (2.31)$$

dimana:

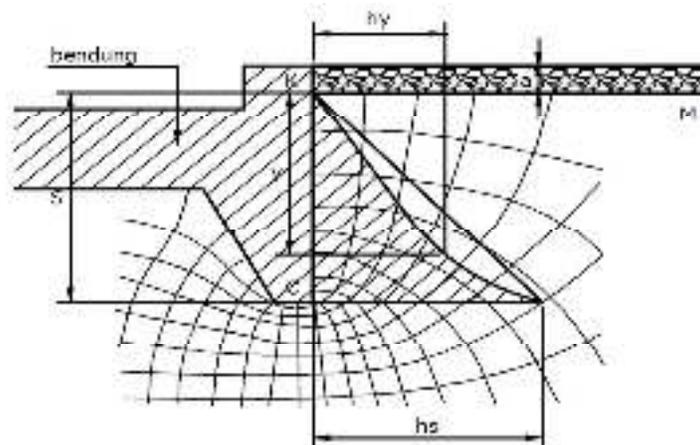
S : faktor keamanan

s : kedalaman tanah, (m)

a : tebal lapisan pelindung, (m)

$h_s$  : tekanan air pada kedalaman s,  $\text{kg/m}^2$

Gambar 2.6 memberikan penjelasan simbol-simbol yang digunakan. Tekanan air pada titik C dapat ditemukan dari jaringan aliran atau garis angka rembesan Lane. Rumus di atas mengandaikan bahwa volume tanah di bawah air dapat diambil 1 ( $\gamma_w = \gamma_s = 1$ ). Berat volume bahan lindung di bawah air adalah 1. Harga keamanan S sekurang-kurangnya 2.



Gambar 2.9 Ujung Hilir Bangunan Sketsa Parameter-Parameter Stabilitas  
(Sumber: Standard Perencanaan Irigasi KP-02)

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Sebagai bahan pertimbangan dan sebagai bahan referensi, maka penulis pada kesempatan kali ini mengambil referensi jurnal dan penelitian yang berkaitan dengan yang sedang diteliti. dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 2.12 Daftar Penelitian Terdahulu

No	Judul	Tujuan	Hasil
1	Tinjauan Analisis Stabilitas Bendung Tetap (Studi Kasus Bendung Njaen Pada Sungai Brambangan Sukoharjo). Oleh Sularno (2011). Universitas Sebelas Maret Surakarta 2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mengetahui nilai keamanan suatu bendung terhadap geser (sliding), guling (overtuning) dan erosi bawah tanah (piping)</li> <li>– Mengetahui anggaran biaya untuk membangun bangunan bendung tersebut</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nilai stabilitas pada kondisi normal; stabilitas terhadap guling (<math>S_f = 2,28 &gt; 1,5</math>); Stabilitas terhadap geser (<math>S_f = 1,96 &gt; 1,5</math>); eksentrisitas pembebanan yang terjadi (<math>e = 0,37 &lt; 2,37</math>); daya dukung tanah atau tegangan tanah yang terjadi (<math>\sigma_{\min} = 3,95 \text{ t/m}^2 &lt; 20 \text{ t/m}^2</math>); <math>\sigma_{\max} = 6,89 \text{ t/m}^2</math>) stabilitas terhadap erosi bawah tanah (piping) (<math>C = 4,49 &gt; 4,0</math>). Nilai stabilitas terhadap banjir;</li> </ul>

			<p>stabilitas terhadap guling (<math>S_f = 1,83 &gt; 1,25</math>); Stabilitas terhadap geser (<math>S_f = 2,46 &gt; 1,25</math>); eksentrisitas pembebanan yang terjadi (<math>e = 0,814 &lt; 1,37</math>; daya dukung tanah atau tegangan tanah yang terjadi (<math>\sigma_{\min} = 2,31 \text{ t/m}^2 &lt; 20 \text{ t/m}^2</math>), Stabilitas terhadap erosi bawah tanah (<i>piping</i>) (<math>C = 5,2 &gt; 4,0</math>). Maka dapat dinyatakan aman</p> <p>– Hasil perhitungan anggaran biaya untuk pembuatan bangunan bendung tersebut adalah sebesar Rp. 3.038.029.000,00</p>
--	--	--	--

2	<p>Evaluasi Stabilitas Bendung Dan Pondasi Spillway Dengan Memperhatikan Adanya Zona Gempa Pada Perencanaan Proyek Bendungan Way Apu Di Maluku Selatan. Oleh Ahmad Fariz Thirafi (2017). Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengetahui kondisi tanah bendung Way Apu.</li> <li>- Mengetahui besar dan lama waktu pemampatan yang terjadi pada tubuh bendungan.</li> <li>- Mengetahui angka keamanan tubuh bendung.</li> <li>- Mengetahui perencanaan pondasi di bawah bendung.</li> <li>- Mengetahui stabilitas pondasi <i>spillway</i> terhadap muka air normal dan banjir.</li> <li>- Mengetahui perencanaan pondasi <i>spillway</i> yang diberikan apabila bangunan <i>spillway</i> tidak stabil</li> <li>- Mengetahui zona gempa terhadap struktur bangunan bendungan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kondisi tanah di bawah bendungan Way Apu 15 meter di bawah bendung berupa lempung hingga kedalaman 10-15 meter, lebih dalam lagi berupa pasir hingga mencapai tanah keras.</li> <li>- Besar Pemampatan yang terjadi pada yaitu zona barat = 1,44 m, zona tengah = 1,76 m, dan zona timur = 1,21 m</li> <li>- Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% (U=90%) besarnya yaitu zona barat = 4,44 tahun, zona tengah = 6,941 tahun dan zona timur = 4,46 tahun.</li> <li>- Didapatkan tinggi timbunan awal pada yaitu pada zona barat = 43 m, zona</li> </ul>
---	--	---	---

			<p>tengah = 43,4 m dan zona timur = 42,8 m.</p> <p>— Hasil analisa stabilitas tubuh bendung pada kondisi eksisting tidak memenuhi kriteria desain bendungan dari PU, sehingga harus dilakukan perkuatan pada tanah dasar.</p> <p>— Dari hasil evaluasi didapatkan hasil jika perencanaan awal bendungan Way Apu masih belum memenuhi kriteria desain bendungan Departemen pekerjaan umum, sehingga dicoba beberapa alternatif percobaan dan didapatkan alternative perkuatan yang memenuhi kriteria desain adalah penggantian lapisan pasir sedalam 2 meter dan</p>
--	--	--	---

			<p>juga grouting konsolidasi pada dasar tubuh bendung.</p> <p>– Hasil analisa stabilitas pondasi spillway terhadap daya dukung diluar kriteria desain sehingga direncanakan perkuatan tiang pancang pada dasar spillway sebanyak 7179 buah.</p>
3	<p>Analisis Stabilitas Bendung Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (Studi Kasus; Desa Sundeta, Pasaman). Oleh Fajri Hidayat; Sih Andajani (2020). Universitas Trisakti</p>	<p>– Mengetahui stabilitas bendung terhadap guling dan stabilitas terhadap geser serta keamanan terhadap erosi bawah tanah</p>	<p>– Berdasarkan analisa stabilitas bendung dapat disimpulkan bahwa tubuh bendung aman terhadap stabilitas guling dan stabilitas geser, dengan nilai keamanan pada kondisi normal yaitu stabilitas terhadap guling <math>S_f = 3,211 &gt; 1,5</math> dan stabilitas terhadap geser <math>S_f = 2,280 &gt; 1,5</math>. Sedangkan pada</p>

			<p>kondisi banjir nilai keamanan stabilitas bendung diperoleh stabilitas guling <math>S_f = 2,181 &gt; 1,25</math> dan stabilitas geser <math>S_f = 1,409 &gt; 1,25</math>. Berdasarkan nilai faktor keamanan terhadap erosi bawah tanah tubuh bendung bagian hilir aman terhadap erosi bawah tanah <math>S_f = 2,09 &gt; 2</math>.</p>
--	--	--	---

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian dilakukan pada Bendung PLTM Parmonangan I, Desa Manalu Dolok, Kecamatan Parmonangan, Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatra Utara

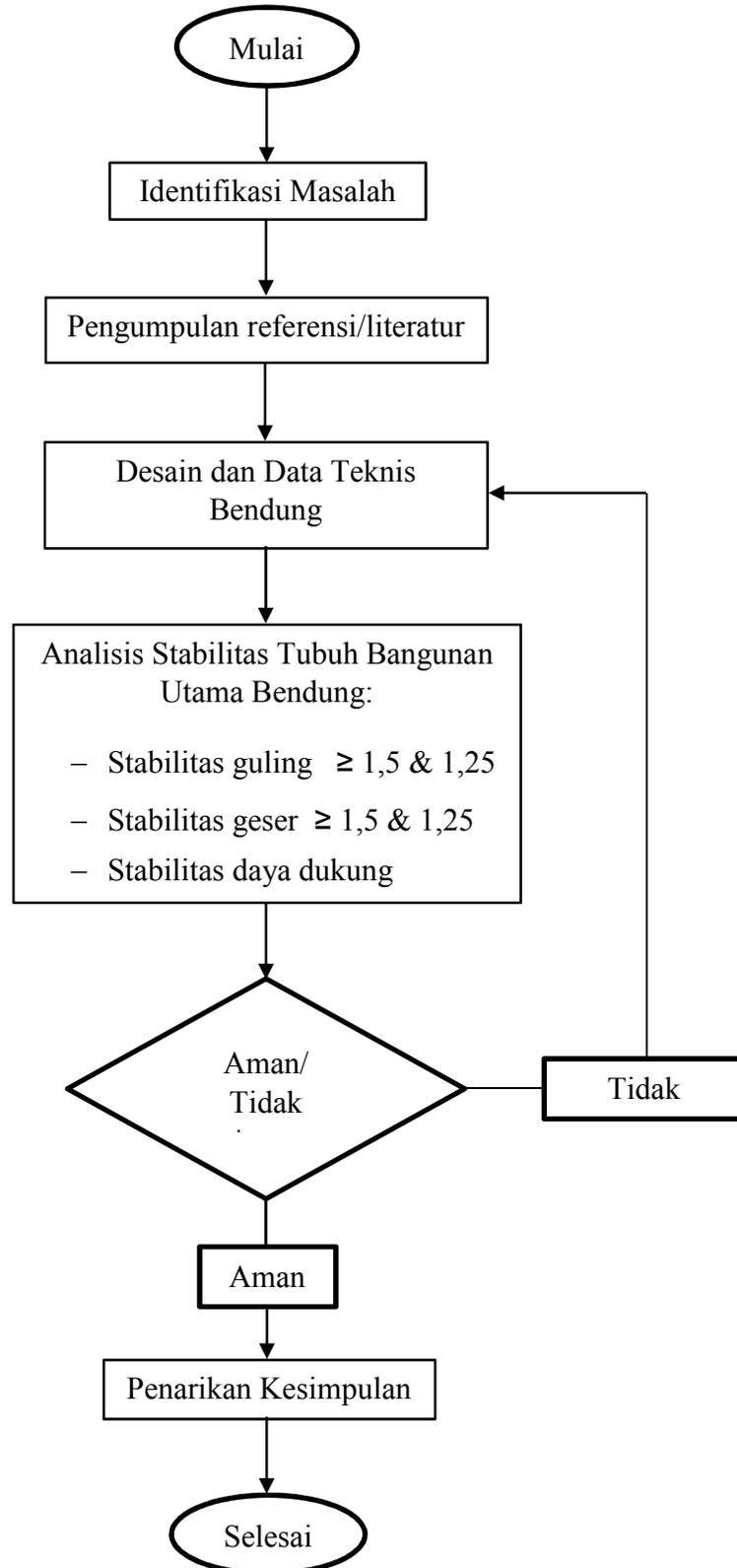


Gambar 3.1 Denah Lokasi Penelitian

*Sumber: Google Maps*

Dengan kehadiran PLTM parmonangan I ini dapat memberikan manfaat luar biasa kepada masyarakat Sumatra Utara, terutama terhadap penggunaan ramah lingkungan untuk menekan penggunaan bahan bakar fosil. PLTM ini berkapasitas 2 x 4,5 megawatt (MW).

### 3.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir (*Flowchart*)

### **3.3 Prosedur atau Tahap Penelitian**

- a. Mengidentifikasi masalah apa saja yang akan dibahas dalam penelitian ini
- b. Mengumpulkan berbagai referensi yang terkait dengan penelitian seperti jurnal dan penelitian lainnya yang sudah dilakukan
- c. Mengumpulkan data seperti data desain bendungan meliputi gambar denah bendungan, potongan melintang dan potongan memanjang bendungan, data teknis bendungan meliputi tipe bendungan, mercu bendung, kolam olak, lebar bendung, tinggi bendung, elevasi bendung dll, dan data mekanika tanah meliputi berat jenis tanah ( $\gamma$ ), dan lain-lain
- d. Melakukan analisis pada tubuh bendungan terhadap geser dan guling
- e. Menarik kesimpulan terhadap penelitian yang dilakukan