

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bendungan

Bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Sedangkan waduk sendiri adalah wadah buatan yang terbentuk akibat dibangunnya bendungan. Menurut Ir. Soedibyo dalam bukunya yang berjudul “Teknik Bendungan”, ditinjau dari berbagai aspek yang mempengaruhi dari pembangunan maupun fungsi bendungan itu sendiri bendungan dibagi menjadi beberapa tipe ditinjau dari beberapa segi yaitu berdasarkan tujuan pembangunan, penggunaan, jalan air, material pembentuk.

2.1.1 Tipe Bendungan Berdasarkan Tujuan Pembangunan

Bendungan dibangun dengan tujuan masing-masing sesuai dengan kebutuhan yang ada pada saat itu, berdasarkan tujuan pembangunannya bendungan dapat dibagi menjadi dua yaitu:

1. Bendungan dengan tujuan tunggal (*single purpose dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja. Misalnya untuk pembangkit tenaga listrik, irigasi, pengendali banjir, perikanan darat atau tujuan lainnya tetapi hanya untuk satu tujuan saja.
2. Bendungan serbaguna (*multi purpose dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan. Misalnya untuk pembangkit tenaga listrik (PLTA) dan irigasi (pengairan), pengendali banjir dan PLTA, air minum dan air industri, PLTA, pariwisata dan irigasi dan lain-lain.

2.1.2 Tipe Bendungan Berdasarkan Penggunaan

Bendungan mempunyai fungsi atau kegunaan sendiri, dari hal tersebut maka bendungan dapat ditinjau dari penggunaan bendungan itu sendiri dan dapat dibagi menjadi tiga yaitu:

1. Bendungan penampung air (*storage dam*) adalah bendungan yang digunakan untuk menyimpan air pada masa surplus dan dipergunakan pada masa kekurangan. Termasuk dalam bendungan penampung adalah tujuan rekreasi, perikanan, pengendali banjir dan lain-lain.
2. Bendungan pembelok (*diversion dam*) adalah bendungan yang digunakan untuk meninggikan muka air, biasanya untuk keperluan mengalirkan air ke dalam sistem aliran menuju ke tempat yang memerlukan. Untuk itu bendungan pengelak mempunyai ketinggian yang kecil dan tidak ada waduk. Termasuk dalam bendungan pengelak ini adalah bendung (*weir*) dan bendung gerak (*barrage*).
3. Bendungan penahan (*detention dam*) adalah bendungan yang digunakan untuk memperlambat dan mengusahakan seminimal mungkin efek aliran banjir yang mendadak. Dengan cara menyimpan air selama banjir dan melepaskannya secara berangsur-angsur dengan laju aliran yang aman.

2.1.3 Tipe Bendungan Berdasarkan Jalan Air

Bendungan erat kaitannya dengan air yang ditampungnya, sehingga bendungan dapat digunakan sebagai penahan maupun untuk dilewati oleh air. Bendungan sesuai jalan airnya dapat dibagi menjadi dua yaitu:

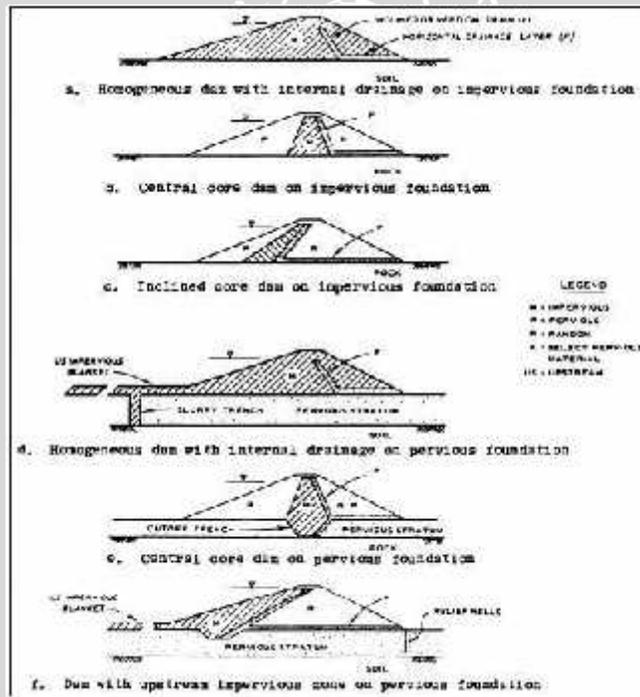
1. Bendungan untuk dilewati air (*overflow dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk dilimpasi air, misalnya pada bangunan pelimpah.
2. Bendungan untuk menahan air (*non overflow dam*) adalah bendungan yang sama sekali tidak boleh dilimpasi air.

2.1.4 Tipe Bendungan Berdasarkan Material Pembentuk

Material pembentuk dari bendungan mempengaruhi bentuk dan fungsi dari bendungan itu sendiri, maka bendungan menurut material pembentuknya dibagi menjadi dua yaitu:

1. Bendungan urugan (*fill dam, embankment dam*)

adalah bendungan yang dibangun dari hasil penggalian bahan (material) tanpa tambahan bahan-bahan lain yang bersifat campuran secara kimia jadi benar-benar bahan pembentuk bangunan asli. Bendungan ini masih dapat dibagi dua jenis yaitu bendungan urugan serba sama (*homogeneous dam*) adalah bendungan yang bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasinya hampir seragam. Sedangkan jenis yang kedua adalah bendungan zonal, adalah bendungan yang bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi yang berbeda-beda dalam urutan-urutan pelapisan tertentu.



Gambar 2.1 Tipe Bendungan Urugan

Sumber: Soedibyo, 1993

2. Bendungan beton (*concrete dam*)

adalah bendungan yang dibuat dari konstruksi beton baik dengan tulangan maupun tidak. Kemiringan permukaan hulu dan hilir tidak sama pada umumnya bagian hilir lebih landai dan bagian hulu mendekati vertikal dan bentuknya lebih ramping.

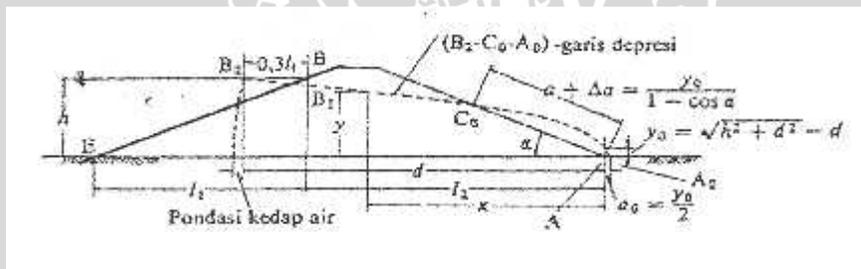
2.2 Debit Rembesan pada Bendungan

Baik tubuh bendungan maupun pondasinya diharuskan mampu mempertahankan diri terhadap gaya-gaya yang ditimbulkan oleh adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah-celah antara butiran-butiran tanah pembentuk tubuh bendungan dan pondasi. Untuk mengetahui kemampuan daya tahan tubuh bendungan serta pondasinya terhadap gaya-gaya tersebut di atas, maka diperlukan analisa pada parameter-parameter berikut :

- Formasi garis depresi (*seepage line formation*) dalam tubuh bendungan dengan elevasi muka air waduk tertentu (diambil kondisi MAT).
- Kapasitas aliran filtrasi yang mengalir melalui tubuh dan pondasi bendungan.

2.2.1. Formasi Garis Depresi

Formasi garis depresi ditentukan dengan menggunakan metode *Casagrande*. Formasi garis depresi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Garis Depresi pada Bendungan Homogen

Sumber: Soedibyo, 1993

Dengan :

h = jarak vertikal antara titik A dan B

d = jarak horisontal antara titik B₂ dan A

l₁ = jarak horisontal antara titik B dan E

l₂ = jarak horisontal antara titik B dan A

A = ujung tumit hilir bendung

B = titik perpotongan antara permukaan air waduk dan lereng hulu bendungan

A_1 = titik perpotongan antara parabola bentuk garis depresi dengan garis vertikal melalui titik B

B_2 = titik yang terletak sejauh $0,3x_{l1}$, horisontal ke arah hulu dari titik B

Persamaan-persamaan yang digunakan dapat diuraikan sebagai berikut :

$$x = \frac{(y^2 - y_0^2)}{2 * y_0} \text{ atau,} \dots\dots\dots 2.1$$

$$y = \sqrt{2 * y_0 * x + y_0^2} \text{ dan,} \dots\dots\dots 2.2$$

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \dots\dots\dots 2.3$$

2.2.2. Debit Rembesan

Kapasitas atau debit aliran filtrasi dapat ditentukan berdasarkan jaringan trayektori (*flownet*) yang terjadi di dalam tubuh bendungan dan pondasinya. Menurut Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku Takeda. 1989, persamaan kapasitas aliran filtrasi dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} * K * H * B \dots\dots\dots 2.4$$

dengan:

Q_f = kapasitas aliran filtrasi (m^3/det)

N_f = jumlah trayektori aliran filtrasi

N_p = jumlah garis ekipotensial

K = koefisien filtrasi = $\sqrt{K_h * K_v}$

H = tinggi tekan air total

B = panjang dasar tubuh bendung

2.3 Jenis Jenis Tanah

Tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan- endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Tanah terbentuk dari proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di permukaan bumi. Pembentukan tanah dari batuan induk, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan

tanah secara fisik adalah proses mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi karena pengaruh alam dan manusia, partikel-partikel yang dihasilkan oleh.

Proses ini berbentuk tidak teratur. Sedangkan proses pembentukan tanah secara kimia diakibatkan adanya unsur-unsur kimia seperti oksigen, karbondioksida, air dan unsur lain yang mengandung asam. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempat disebut tanah terangkut (*transported soil*).

		1,7 mm		0,38		0,075						
Unified class system	k a s a r	sedang		halus		Butiran halus (lanau / lempung)						
		pasir										
		2,0 mm	0,420	0,075	0,005	0,001						
ASTM		Pasir sedang	Pasir halus	lanau	lempung	Lempung koloidal						
		2,0mm	0,6	0,2	0,06	0,006	0,002	0,0006	0,0002mm			
MIT nomina- clature		kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus		
		pasir			lanau			lempung				
		2,0mm	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,006	0,002	0,0006	0,0002
International nomina- clature	Sgt kasar	kasar	sedang	halus	kasar	halus	kasar	halus	kasar	halus	Sgt halus	
		pasir				Mo	lanau		lempung			

Gambar 2.3 Klasifikasi Butiran Tanah

Sumber: Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck, 1993

Kondisi tanah diberbagai daerah berbeda-beda. Sifat-sifat tanah seperti kuat tekan dan gaya geser tanah tergantung kepada komposisi tanah itu sendiri. apakah tanah tersebut berpori, banyak mengandung air dan sebagainya.

Komposisi tanah terdiri dari butiran tanah, air dan udara. Berikut adalah jenis-jenis tanah yang biasa dikenal untuk klasifikasi tanah di lapangan, menurut (Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck (1993)):

1. Pasir (*sand*) dan Kerikil (*gravel*)

Disebut pasir apabila masih bisa dilihat oleh mata, tetapi berukuran kurang dari 2 mm. Pasir sendiri dibedakan menjadi tiga berdasarkan ukuran butirannya yaitu

pasir kasar dengan diameter butiran berkisar antara 2-0,6 mm, pasir sedang dengan diameter butiran berkisar antar 0,6-0,2 mm dan pasir halus bila diameter butirannya antara 0,2-0,06 mm. Sedangkan yang disebut kerikil adalah butiran yang berdiameter lebih besar dari 2 mm.

2. *Hardpan*

Merupakan tanah yang memiliki tahanan terhadap penetrasi alat pemboran sangat besar. Sebagian besar *hardpan* memiliki gradasi yang baik, luar biasa padat dan merupakan agregat partikel mineral yang kohesif.

3. Lanau anorganik (*inorganic silt*)

Merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil atau sama sekali tidak ada. Jenis yang plastisitasnya paling kecil biasanya mengandung butiran kuarsa sedimen, yang sering disebut tepung batuan (*rock flour*), sedangkan yang sangat plastis mengandung partikel berwujud serpihan dan dikenal sebagai lanau plastis.

4. Lanau organik (*organic silt*)

Merupakan tanah agak plastis, berbutir halus dengan campuran partikel-partikel bahan organik terpisah secara halus. Lanau organik memiliki permeabilitas yang sangat rendah dan memiliki kompresibilitas yang sangat tinggi.

5. Lempung (*clay*)

Butiran lempung lebih halus dari lanau, merupakan kumpulan butiran mineral *kristalin* yang bersifat *mikroskopis* dan berbentuk serpihan-serpihan atau pelat-pelat. Material ini bersifat plastis, kohesif dan mempunyai kemampuan menyerap ion-ion. Sifat-sifat tersebut sangat dipengaruhi oleh kandungan air dalam tanah.

6. Lempung organik (*organic clay*)

Merupakan lempung yang sifat-sifat fisisnya dipengaruhi oleh bahan organik yang tersusun di dalamnya.

7. Gambut (*peat*)

Merupakan agregat agak berserat yang berasal dari serpihan *makroskopik* dan *mikroskopik* tumbuh-tumbuhan.

2.3.1 Permeabilitas Tanah

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya. Sehingga air dapat mengalir dari titik yang mempunyai tinggi energi lebih tinggi ke titik dengan energi yang lebih rendah. Untuk tanah permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang menggambarkan bagaimana air mengalir melalui tanah.

Di dalam tanah, sifat aliran mungkin laminar atau turbulen. Tahanan terhadap aliran bergantung pada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat masa serta bentuk geometri rongga pori. Temperatur juga sangat mempengaruhi tahanan aliran (kekentalan dan tegangan permukaan).

Walaupun secara teoritis, semua jenis tanah lebih atau kurang mempunyai rongga pori, dalam praktek, istilah mudah meloloskan air (*permeable*) ditujukan untuk tanah yang memang benar-benar mempunyai sifat meloloskan air. Sebaliknya, tanah disebut kedap air (*impermeable*), bila tanah tersebut mempunyai kemampuan meloloskan air yang sangat kecil.

2.3.2 Gejala Pembuluh (*piping action*)

Adanya tekanan air di sebelah hulu maka ada kecenderungan terjadinya aliran air melewati pori pori dalam tanah. Apabila gaya yang menahan lebih besar dari gaya yang mengalirkan maka aliran air tidak akan terjadi. Sebaliknya apabila gaya yang menahan lebih kecil aliran air ini akan terjadi. Kalau hal ini terjadi butir butir kecil dari tanah akan hanyut dan terjadilah erosi yang akan makin lama akan makin membesar dan terjadi dalam waktu yang sangat cepat. Setelah tanah hanyut besar maka tubuh bendungan makin cepat berlubang, kemudian akan hancur dan inilah yang disebut gejala pembuluh.

2.3.3 Sembulan Pasir (*sand boils*)

Mengumpulnya pasir atau bahan bangunan kecil kecil lain sebagai akibat terjadinya mata air di bagian hilir bendungan. Gejala ini sering terjadi lewat bekas bekas lubang bor, sumur pengujian atau terowongan pengujian. Kadang-kadang terjadi di satu tempat tetapi dapat pula terjadi di beberapa tempat. Apabila tidak segera mendapatkan perbaikan akan menyebabkan terjadinya gejala pembuluh yang lama kelamaan dapat menghancurkan bendungan. Untuk mengatasi bahaya sembulan maka harus dilakukan pemadatan tubuh bendungan sebaik-baiknya.

2.3.4 Liquefaction

Gejala yang terjadi pada pondasi tanah yang berbutir kecil seperti pasir yang jenuh air dan secara tiba tiba digoncang oleh kekuatan dari luar seperti gempa bumi sehingga timbul penurunan pondasi secara tiba tiba pula. Gejala ini sangat bahaya dan dihindarkan dengan cara pemadatan tanah pondasi yang dilakukan dengan sebaik-baiknya.

2.4 Stabilitas Konstruksi Bendungan

Merupakan perhitungan konstruksi untuk menentukan ukuran dimensi bendungan agar mampu menahan gaya yang terjadi pada bendungan dalam keadaan apapun. Dalam hal ini termasuk terjadinya angin maupun gempa bumi hebat dan banjir besar.

Di dalam kriteria desain dan dasar dasar perencanaan terdapat 3 prinsip yang harus diperhatikan:

1. Untuk mencegah terjadinya bahaya limpasan lewat puncak bendungan maka harus disediakan bangunan pelimpah dan bangunan pengeluaran yang cukup kapasitasnya. Apabila terpaksa ada air yang melimpah lewat puncak bendungan, hanya dipebolehkan berasal dari ombak atau gelombang yang terjadi karena angin. Kalaupun hal ini terjadi bendungan harus dapat menahan tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti.
2. Syarat syarat stabilitas konstruksi dapat dipenuhi
3. Untuk mencegah terjadinya bahaya gejala pembuluh maka rembesan air yang memungkinkan terjadi harus disalurkan lewat saluran pengering, sumur pengering atau sumur pelepas tekan.

2.4.1 Syarat Syarat Stabilitas Konstruksi

Stabilitas suatu konstruksi dapat dinyatakan stabil apabila telah melalui beberapa syarat dibawah, yaitu:

1. Lereng di sebelah hulu dan hilir bendungan harus tidak mudah longsor. Lereng di sbelah hulu bendungan harus stabil dan aman dalam keadaan apapun baik pada waktu kosong, penuh air maupun permukaan air turun dengan tiba tiba (*rapid drawdown*). Demikian pula untuk lereng di sebelah hilir, harus stabil dan aman dalam keadaan apapun, baik pada waktu waduk kosong, penuh air maupun permukaan air turun dengan tiba tiba.

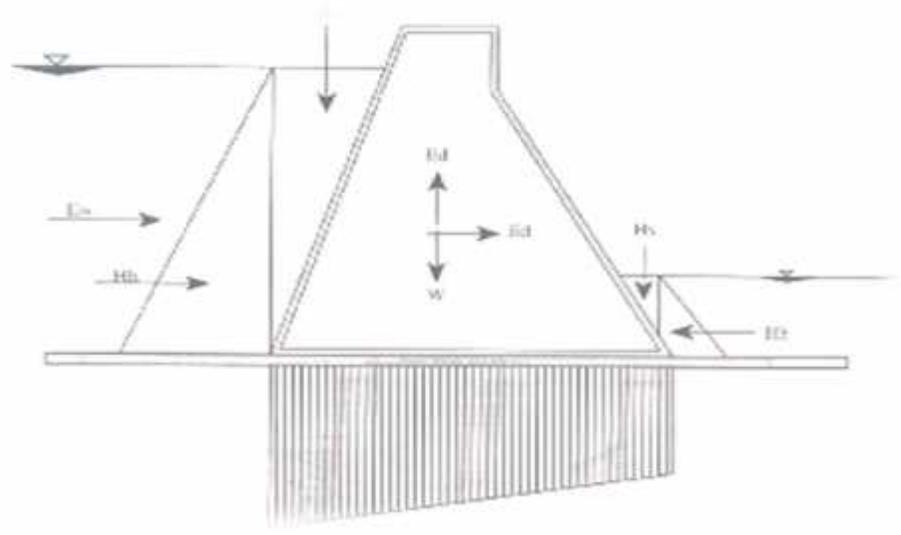
2. Harus aman terhadap geseran.
3. Harus aman terhadap penurunan bendungan.
4. Harus aman terhadap rembesan.

2.4.2 Keadaan Berbahaya Yang Harus Ditinjau di Dalam Perhitungan.

Ada empat keadaan yaitu :

1. Pada akhir pembangunan Berdasarkan penyelidikan tanah baik di lapangan maupun di laboratorium dapat diambil kesimpulan bahwa tanah hanya dapat dipakai secara maksimal apabila kadar airnya mencapai optimal. Ini berarti bahwa pada akhir pembangunan masih terdapat kadar air yang besar, sehingga tegangan pori yang timbul juga besar. Keadaan berbahaya yang harus ditinjau adalah kemiringan sebelah hilir.
2. Pada waktu waduk terisi air penuh dan dapat rembesan tetap. Makin tinggi permukaan air yaitu pada saat waduk terisi air penuh merupakan keadaan yang berbahaya, sehingga ditinjau di dalam perhitungan. Keadaan bahaya yang harus ditinjau adalah kemiringan sebelah hilir.
3. Pada waktu waduk terisi air sebagian dan terdapat rembesan tetap. Ini perlu ditinjau karena longsornya bendungan tergantung dari beberapa faktor dan kadang kadang yang berbahaya justru bukan pada waktu waduk penuh tetapi hanya sebagian saja. Keadaan berbahaya yang harus ditinjau adalah kemiringan sebelah hulu (di dalam waduk).
4. Pada waktu waduk terisi air penuh dan terjadi penurunan secara tiba-tiba (*rapid drawdown*). Pada waktu waduk terisi air penuh maka tekanan air porinya sangat besar, bagian dalam waduk mendapatkan tekanan air keatas sehingga beratnya berkurang. Pada waktu permukaan air waduk turun secara tiba tiba maka air dan pori pori akan sangat lambat hilangnya sehingga masih terisi air dan dalam keadaan basah karena tekanan air ke atas tidak ada lagi. Keadaan berbahaya yang harus ditinjau adalah bagian hulu.

2.4.3 Muatan Muatan dan Gaya Yang Diperhitungkan



Gambar 2.4 Diagram Gaya Gaya Yang Bekerja Pada Tubuh Bendungan Gaya Berat
 Sumber : Zanger

Yang terpenting adalah : berat bendungan sendiri, tekanan pori, tekanan hidro statis dan gaya sebagai akibat gempa bumi. Tekanan hidrodinamis pada bendungan urugan sebagai akibat gempa bumi biasanya hanya kecil sehingga dapat diabaikan. Menurut Zanger untuk menentukan tekanan hidrodinamis digunakan rumus :

$$P_d = c \cdot W_o \cdot k \cdot H \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana :

- Pd - tekanan hidrodinamis
- Wo - berat jenis air = 1
- k - koefisien gempa bumi
- H - tinggi air di sebelah hulu bendungan
- c - koefisien = $\frac{C_m}{2} \left[\frac{h}{H} \left(2 - \frac{h}{H} \right) + \sqrt{\frac{h}{H} \left(2 - \frac{h}{H} \right)} \right]$
- h - jarak antara permukaan air tertinggi dengan titik tangkap gaya hidrodinamis
- Cm - Koefisien C di sini nilai pd mencapai maksimal.

Menurut Zanger nilai C_m tergantung pada kemiringan bendungan sebelah hulu. Untuk bendungan urugan yang kemiringannya cukup landai maka nilai C_m relatif kecil. Sedangkan h juga kecil dibanding dengan H sehingga relatif nilai C menjadi kecil sehingga nilai p_d juga kecil, dan biasanya dapat diabaikan.

1. Berat bendungan sendiri

Harus ditentukan dalam keadaan kering, basah atau di bawah air, demikian pula masing-masing lapisan dihitung tersendiri karena berat volumenya tidak sama. Berat volume kering (*dry density, dry unit weight*) adalah perbandingan antara berat tanah dalam keadaan kering dengan isi tanah seluruhnya. Berat volume basah (lembab, *wet density*) adalah perbandingan antara berat tanah dalam keadaan basah dengan isi tanah seluruhnya. Yang dimaksud basah di sini adalah dengan adanya air kapiler maka keadaan tanahnya menjadi basah. Berat volume di bawah air (jenuh, *submerged density, saturated density*) adalah berat volume kering – 1 (berat volume air). Untuk menentukan batas-batasnya digunakan jaringan aliran air (*flow net*), yaitu pada garis phreatik (*phreatic line*). Di atas garis phreatik diambil berat volume kering atau basah tergantung dengan keadaan yang paling membahayakan konstruksi. Di bawah garis phreatik diambil berat volume di bawah air.

Untuk bendungan urugan batu yang menggunakan lapisan maka berat volumenya juga berbeda-beda, ada berat volume lapisan batu sebarang, berat volume batu teratur, lapisan filter kasar, lapisan filter halus, lapisan kedap air dan lain-lain. Pada keadaan waduk terisi air penuh lalu tiba-tiba turun maka di bawah garis phreatik yang tadinya menggunakan berat volume di bawah air setelah bagian hulu (waduk) hilang airnya maka dipakai berat volume basah yang jauh lebih berat, hal ini sangat mempengaruhi kestabilan bendungan.

2. Tekanan pori (*pore pressure*)

Bekerja ke arah normal terhadap bidang geser dan sangat menentukan untuk perhitungan keamanan terhadap geseran.

3. Tekanan hidrostatik

Merupakan tekanan dari air di dalam waduk dan di sebelah hilir bendungan.

4. Gaya sebagai akibat gempa

Suatu bendungan harus disesuaikan dengan persyaratan baik “persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan” (MDE, *Maximum Design Earthquake*) ataupun “persyaratan tanpa kerusakan” (OBE, *Operating Basic Earthquake*). Dimana hasil dari parameter gempa tersebut di analisis untuk evaluasi perilaku bendungan dan keamanan bendungan terhadap besaran guncangan. Adapun kondisi bendungan yang akan dianalisis adalah dalam kondisi kosong, kondisi muka air normal, kondisi muka air banjir, kondisi muka air *Intermediate* dan kondisi surut cepat (*Rapid Drawdown*).

Penentuan besaran gempa desain bendungan mengikuti pedoman pada “Pedoman Pd-T- 14-2004 A” Analisa Stabilitas Bendungan Urugan akibat Gempa dimulai dengan menentukan faktor risiko keamanan bendungan.

Tabel 2.1. Kriteria Faktor Risiko untuk Evaluasi Keamanan Bendungan

Faktor Risiko	Ekstrem	Angka bobot dalam kurung			
		Tinggi	Moderat	Rendah	
Kapasitas ($10^6 m^3$) (FR _v)	>100 (6)	100-1.25 (4)	1,00-0.125 (2)	<0.125 (0)	
Tinggi (m) (FR _t)	> 45 (6)	45-30 (4)	30-15 (2)	< 15 (0)	
Kebutuhan evakuasi (jumlah orang) (FR _w)	> 1000 (12)	1000-100 (8)	100-1 (4)	0 (0)	
Tingkat kerusakan hilir (FR _n)	Sangat Tinggi (12)	Tinggi (10)	Agak Tinggi (8)	Moderat (4)	Tidak Ada (0)

Sumber : Pedoman Pd-T- 14-2004 A

Tabel 2.2. Kelas Risiko Bendungan dan Bangunan Air

Faktor Risiko Total	Kelas Risiko
(0-6)	I (Rendah)
(7-18)	II (Moderat)
(19-30)	III (Tinggi)
(> 31)	IV (Ekstrem)

Sumber : Pedoman Pd-T- 14-2004 A

Tabel 2.3 Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan

Kelas risiko dengan masa guna	Perisyeratan tanpa kerusakan		Perisyeratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan	
	T (thn) $a_d \geq 0,1 g$	Metode Analisa Koef Gempa	T (tahun) 10.000 (MDE)	Metode Analisa Koef.gempa atau dinamik *
IV N=50-00	100-200 $a_d \geq 0,1 g$	Koef Gempa	10.000 (MDE)	Koef.gempa atau dinamik *
III N=50-00	50-100 $a_d \geq 0,1 g$	Koef Gempa	5000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *
II N=50-00	50-100 $a_d \geq 0,1 g$	Koef Gempa	3000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *
I N=50-00	50-100 $a_d \geq 0,1 g$	Koef Gempa	1000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *

Sumber : Pedoman Pd-T- 14-2004 A

5. Harus aman terhadap geseran

Untuk menentukan gaya geser suatu tanah *Terzaghi* menemukan rumus sebagai berikut :

$$= C' + n' \cdot tg \dots\dots\dots 2.6$$

Dengan :

= gaya geser (ton)

C' = angka kohesi tanah yang dapat ditentukan dengan percobaan

n' = tegangan efektif yang bekerja secara normal (tegak lurus) pada bidang geser (ton)

= sudut geser yang menahan tegangan efektif.

Apabila tanah dalam keadaan tidak kering betul maka ada tegangan yang disebut tegangan pori yang besarnya dapat dihitung dengan alat piezometer. Semakin basah suatu tanah, semakin besar pula tegangan porinya (merupakan tinggi air di dalam *piezometer*). Tegangan pori memperlemah kestabilan bendungan maka makin besar tegangan pori keadaan bendungan makin berbahaya. Usaha untuk memperkecil tegangan pori dapat dilakukan dengan membuat saluran-saluran pengering (drainase).

$$n' = (- u) \dots\dots\dots 2.7$$

Dengan :

= tegangan normal pada bidang geser (ton).

u = tegangan pori.

2.5 Parameter Aplikasi Plaxis 8.2

2.5.1. Modulus Young

Modulus elastisitas sering disebut sebagai *Modulus Young* yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis, sehingga modulus elastisitas menunjukkan kecenderungan suatu material untuk berubah bentuk dan kembali lagi ke bentuk semula bila diberi beban (SNI 2826-2008). Modulus elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material, sehingga semakin tinggi nilai modulus elastisitas bahan, maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi gaya. Jadi, semakin besar nilai modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi atau semakin kaku. Besarnya pertambahan panjang yang dialami oleh setiap benda ketika merenggang adalah berbeda antara satu dengan yang lainnya tergantung dari elastisitas bahannya. Sebagai contoh, akan lebih mudah untuk meregangkan sebuah karet gelang daripada besi pegas. Untuk merenggangkan sebuah besi pegas membutuhkan ratusan kali lipat dari tenaga yang dibutuhkan untuk merenggangkan sebuah karet gelang.

Ketika diberi gaya tarik, karet ataupun pegas akan meregang dan mengakibatkan pertambahan panjang baik pada karet gelang ataupun besi pegas. Besarnya pertambahan yang terjadi tergantung pada elastisitas bahannya dan seberapa besar gaya yang bekerja padanya. Semakin elastis sebuah benda, maka semakin mudah benda tersebut untuk dipanjangkan atau dipendekan. Semakin besar gaya yang bekerja pada suatu benda, maka semakin besar pula tegangan dan regangan yang terjadi pada benda itu, sehingga semakin besar pula pemanjangan atau pemendekan dari benda tersebut. Jika gaya yang bekerja berupa gaya tekan, maka benda akan mengalami pemendekan, sedangkan jika gaya yang bekerja berupa beban tarik, maka benda akan mengalami perpanjangan. Bisa disimpulkan bahwa regangan () yang terjadi pada suatu benda berbanding lurus dengan tegangannya () dan berbanding terbalik terhadap ke elastisitasannya. Bila nilai E semakin kecil, maka akan semakin mudah bagi bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan.

Dalam SI, satuan *Modulus Young* sama dengan satuan tegangan (N/m^2), karena pembagian tegangan dengan regangan tidak menimbulkan pengurangan satuan (regangan tidak memiliki satuan). Semakin besar regangan yang terjadi, maka semakin kecil nilai modulus elastisitas. Semakin besar nilai modulus suatu benda, maka semakin sulit benda tersebut dapat memanjang, dan sebaliknya.

2.5.2. Angka Poisson

Angka Poisson (μ) adalah angka perbandingan antara regangan horizontal (*lateral strain*) dan regangan vertikal (*axial strain*) yang disebabkan oleh beban sejajar sumbu dan regangan aksial (Yoder, E.Y. and M.W Witczak.1975). Jadi, angka poisson adalah nilai perbandingan antara regangan horizontal dan regangan vertikal. Dinyatakan dengan rumus:

$$\mu = \frac{E_h}{E_v} \dots\dots\dots 2.7$$

Dengan :

μ = angka poisson

h = regangan horizontal (*lateral strain*)

v = regangan vertikal (*axial strain*)

2.5.3. Kekuatan Geser Pada Tanah

Kekuatan tanah untuk memikul beban-beban atau gaya yang dapat menyebabkan kelongsoran, keruntuhan, gelincir dan pergeseran tanah. Parameter kuat geser dapat digunakan untuk menghitung :

- a. Daya Dukung Tanah Dasar
- b. Stabilitas Lereng
- c. Tegangan Lateral

Keruntuhan geser ditandai dengan terjadinya bidang keruntuhan (bidang geser) yang searah dengan tekanan utama besar (*major principal stress*). Terjadi jika kadar air rendah atau relatif kering, jika kadar air tinggi tidak pecah tapi ukuran garis tengah contoh tanah bertambah dengan bertambahnya tekanan aksial (*axial stress*). Perubahan garis tengah contoh tanah ini merupakan bentuk yang berubah. Jadi tekanan yang menyebabkan terjadinya perubahan garis tengah ini dapat dinyatakan sebagai ukuran kekuatan geser tanah.

2.6. Aplikasi Plaxis 8.2

Program komputer *Plaxis* adalah program elemen hingga yang dikembangkan secara khusus untuk menganalisis masalah seputar deformasi, stabilitas tanah dan batuan.

Program komputer *Plaxis* ini dapat menyajikan hasil keluaran berupa tabel dan grafik dari potongan melintang dari hasil analisis input. Dengan adanya pemodelan pertemuan elemen struktur tanah, maka hasil yang didapat titik pertemuan elemen akan memberikan nilai tegangan yang lebih akurat.

2.6.1. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah cara pendekatan solusi analisis struktur secara numerik dimana struktur kontinum dalam elemen-elemen kecil yang umumnya memiliki geometri lebih sederhana dengan derajat kebebasan tertentu (berhingga), sehingga lebih mudah dianalisis.

Elemen-elemen diferensial ini memiliki asumsi fungsi perpindahan yang dikontrol pada nodal-nodalnya. Pada nodal tersebut diberlakukan syarat keseimbangan dan kompatibilitas. Perpindahan pada titik *loan* diasumsikan dipengaruhi oleh nilai nodal. Dengan menerapkan prinsip energi, disusun matriks kekuatan untuk tiap elemen dan kemudian diturunkan persamaan keseimbangannya pada tiap nodal dari elemen diskret sesuai dengan kontribusi elemennya.

2.6.2. Penggunaan Plaxis 8.2 2D Untuk Analisis Stabilitas

Plaxis 8.2 2D adalah program elemen hingga untuk aplikasi geoteknik dimana digunakan model-model tanah untuk melakukan simulasi terhadap perilaku dari tanah. Program *Plaxis* dan model-model tanah di dalamnya telah dikembangkan dengan seksama. Walaupun pengujian dan validasi telah banyak dilakukan, tetapi tidak dapat dijamin bahwa program *Plaxis* adalah bebas dari kesalahan. Simulasi permasalahan geoteknik dengan menggunakan metode elemen hingga sendiri telah secara implisit melibatkan kesalahan pemodelan dan kesalahan numerik yang tidak dapat dihindari. *Plaxis* dimaksudkan sebagai suatu alat bantu analisis untuk digunakan oleh ahli geoteknik yang tidak harus menguasai metode numerik.

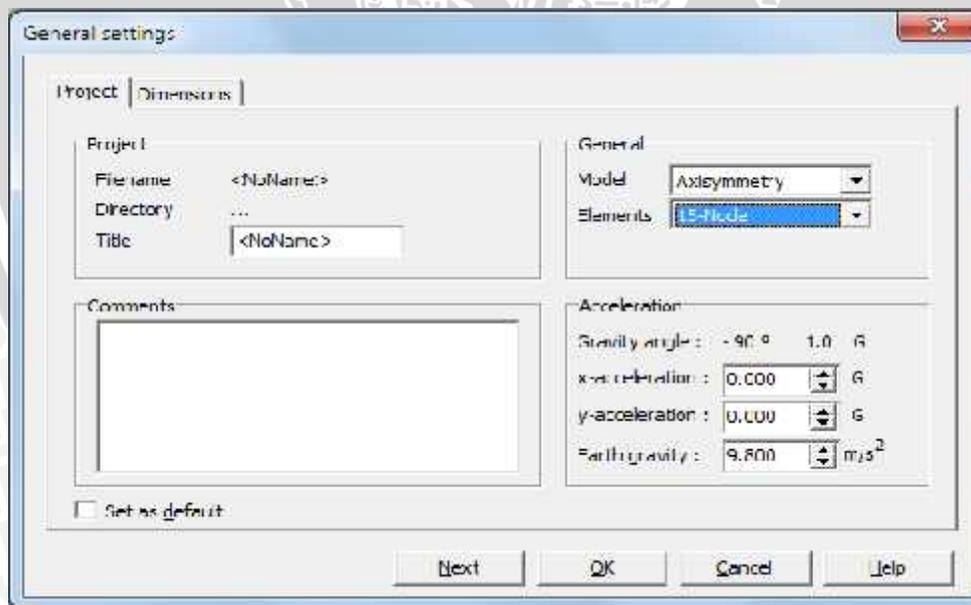
2.6.3. Pemodelan Dengan Plaxis 8.2 2D

Untuk setiap proyek baru yang akan dianalisis, penting untuk terlebih dahulu membuat model geometri. Sebuah model geometri adalah representasi 2D (dua dimensi) dari model tiga dimensi sesungguhnya, dan terdiri dari komponen titik, komponen garis serta komponen klaster. Sebuah model geometri yang lengkap akan meliputi massa tanah yang dapat dibagi menjadi lapisan-lapisan tanah yang berbeda, elemen-elemen struktural, tahapan-tahapan konstruksi serta pembebanan. Ukuran model harus dibuat cukup besar sedemikian rupa sehingga batas-batas model tidak mempengaruhi hasil dari permasalahan yang dianalisis. Setelah sebuah model geometri terbentuk, maka suatu model elemen hingga dapat secara otomatis dibentuk dengan berdasarkan komposisi dari klaster-klaster dan garis-garis yang membentuk model geometri tersebut.

Jika sebuah proyek baru dimulai, jendela pengaturan global seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5 akan muncul. Jendela ini terdiri dari dua lembar tab. Dalam lembar tab pertama berbagai pengaturan untuk proyek harus diberikan. Nama berkas belum dispesifikasikan disini, tetapi harus diberikan saat menyimpan proyek.

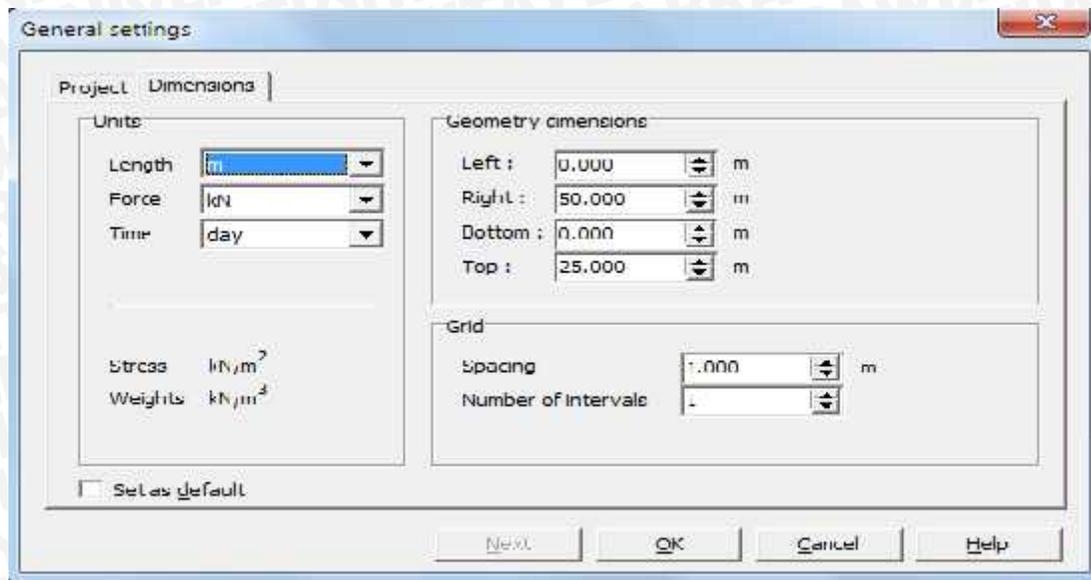
Pengguna dapat memasukkan keterangan singkat mengenai permasalahan sebagai judul dari proyek atau deskripsi yang lebih mendetail dalam kotak komentar. Judul ini digunakan sebagai nama berkas dan akan muncul dalam setiap penggambaran keluaran. Kotak komentar merupakan tempat yang baik untuk menyimpan informasi tentang analisis. Selain itu, jenis analisis dan jenis elemen harus ditentukan disini. Suatu nilai percepatan, disamping percepatan gravitasi, dapat dimasukkan untuk simulasi pseudo-statik dari beban-beban dinamis.

Lembar tab kedua ditunjukkan pada Gambar 2.6. Selain satuan dasar Panjang, Gaya dan Waktu, dimensi atau ukuran minimum dari bidang gambar harus ditetapkan disini, sehingga model geometri dapat termuat dengan baik dalam bidang gambar. Sistem sumbu global positif adalah sumbu x mengarah ke kanan, sumbu y mengarah ke atas dan sumbu z mengarah ke pengguna.



Gambar 2.5 Pengaturan Global Lembar Tab Proyek

Sumber : Panduan Manual Palxis 8.2 2D Indonesia



Gambar 2.6 Pengaturan Global Lembar Tab Dimensi

Sumber : Panduan Manual Plaxis 8.2 2D Indonesia

Model geometri 2 dimensi dalam Plaxis dibuat dalam bidang x - y . Sumbu z hanya digunakan untuk keluaran tegangan saja. Kiri adalah koordinat x terkecil dari model, Kanan adalah koordinat x terbesar dari model, Bawah adalah koordinat y terkecil dari model dan Atas adalah koordinat y terbesar dari model.

Dalam praktek, bidang gambar yang terbentuk berdasarkan nilai-nilai yang diberikan dan mempunyai dimensi yang lebih besar daripada nilai-nilai yang dimasukkan dalam keempat *spin edit* tersebut. Hal ini terjadi akibat *Plaxis* secara otomatis menambahkan sedikit margin pada ukuran bidang gambar dan akibat perbedaan rasio lebar terhadap tinggi antara nilai-nilai yang dimasukkan dan ukuran layar.

Setelah *input data* selesai, maka hal selanjutnya adalah pemodelan dengan menggambarkan potongan melintang timbunan dan kondisi tanah yang ada. Lalu memasukkan data tanah dan selanjutnya melakukan perhitungan.