

PEDOMAN

Konstruksi dan Bangunan

Perencanaan teknis bendung pengendali dasar sungai

Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah
Nomor : 360/KPTS/M/2004
Tanggal : 1 Oktober 2004



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Prakata

Pedoman perencanaan teknis bendung pengendali dasar sungai ini termasuk dalam Gugus kerja Irigasi, Sabo; Rawa dan Pantai; Danau dan Sungai pada Sub Panitia Teknik Bidang Sumber Daya Air yang berada dibawah Panitia Teknik Bidang Konstruksi dan Bangunan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Penulisan pedoman ini mengacu kepada Pedoman BSN No.8 Tahun 2000 dan telah mendapat masukan dan koreksi dari ahli bahasa.

Perumusan pedoman ini dilakukan melalui proses pembahasan pada Gugus Kerja, Prakonsensus dan Konsensus pada tanggal 14 Agustus 2003 di Pusat Litbang Sumber Daya Air Bandung serta proses penetapan pada Panitia Teknik yang melibatkan para narasumber dan pakar dari berbagai instansi terkait.

Pedoman ini mengacu pada hasil penelitian, hasil pengamatan penerapan di lapangan, berdasarkan sumber pustaka "kumpulan literatur bidang persungai", serta teori dan praktek lapangan pada teknologi bendung pengendali dasar sungai di Indonesia. Pedoman ini dibuat sebagai acuan dalam bidang pengendalian erosi dan sedimentasi untuk stabilitas dasar sungai yang sesuai dengan kondisi di Indonesia.

Daftar isi

Prakata	i
Daftar isi	ii
Pendahuluan	vi
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Data dan informasi	2
4.1 Data topografi	2
4.2 Data hidrologi	2
4.2.1 Data aliran langsung	2
4.2.2 Data hujan	2
4.3 Data geoteknik	2
4.4 Data geometri sungai	3
4.5 Data bangunan	3
4.6 Data morfologi sungai	3
4.7 Data bahan bangunan	3
Fungsi dan persyaratan	3
5.1 Fungsi bendung pengendali dasar sungai	3
5.2 Fungsi kelengkapan bendung pengendali dasar sungai	4
5.2.1 Tubuh bendung	4
5.2.2 Peluap	4
5.2.3 Lantai kolam olak	4
5.2.4 Tembok tepi	4
5.2.5 Sayap	4
5.3 Syarat keamanan dan stabilitas	4
5.3.1 Keamanan hidraulik	4
5.3.2 Keamanan struktural	4
5.3.3 Keamanan lingkungan	4
6 Ketentuan-ketentuan	5
6.1 Tata letak	5
6.2 Bentuk dan dimensi	5
6.2.1 Bentuk bendung pengendali dasar sungai	5

6.2.2	Bendung utama	5
6.2.3	Peluap	5
6.2.4	Mercu	5
6.2.5	Tubuh bendung	5
6.2.6	Sayap	6
6.2.7	Subdam	6
6.2.8	Kolam olak	6
6.2.9	Bangunan pelengkap	6
6.3	Gaya-gaya yang bekerja	6
7	Perencanaan teknis bendung pengendali dasar sungai	6
7.1	Persamaan	6
7.1.1	Persamaan untuk menentukan dimensi peluap	7
7.1.2	Persamaan untuk menentukan kemiringan bagian hulu dari bendung utama	7
7.1.3	Persamaan untuk menentukan batas kemiringan tubuh bendung bagian hilir	7
7.1.4	Persamaan untuk menentukan panjang kolam olak	7
7.1.5	Persamaan untuk menentukan tebal lantai kolam olak	8
7.1.6	Persamaan untuk menentukan tinggi sub dam	8
7.2	Penghitungan dimensi bendung pengendali dasar sungai	9
7.2.1	Peluap	9
7.2.2	Lebar mercu peluap	9
7.2.3	Kemiringan bagian hulu bendung utama	10
7.2.4	Kemiringan bagian hilir bendung utama	10
7.2.5	Tembok tepi	10
7.3	Penghitungan stabilitas	11
7.3.1	Stabilitas terhadap guling	11
7.3.2	Stabilitas terhadap geser	12
7.3.3	Stabilitas terhadap daya dukung tanah fondasi	12
7.4	Stabilitas tembok tepi	12
	Lampiran A Gambar	13
	Gambar A.1 Gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendung	13
	Gambar A.2 Gaya-gaya yang bekerja pada tembok tepi	14
	Gambar A.3 Stabilitas bendung	15
	Gambar A.4 Batas kemiringan tubuh bendung	16
	Gambar A.5 Panjang kolam olak	17

Gambar A.6 Bendung pengendali dasar sungai dan bangunan kelengkapannya ...	18
Gambar A.7 Gambar stereometris bendung pengendali dasar sungai	19
Gambar A.8 Tata letak bendung pengendali dasar sungai	20
Gambar A.9 Gambar detail bendung pengendali dasar sungai	21
Lampiran A Gambar (informatif)	
Lampiran B Tabel	22
Tabel B.1 Tinggi jagaan pada peluap	22
Tabel B.2 Penentuan lebar mercu	22
Tabel B.3 Gaya-gaya yang bekerja pada bendung pengendali dasar sungai	22
Tabel B.4 Angka keamanan terhadap geser yang disarankan	22
Tabel B.5 Daya dukung tanah yang diizinkan dan koefisien geser	23
Tabel B.6 Hitungan gaya-gaya yang bekerja pada bendung Pengendali dasar sungai < 5 meter	23
Tabel B.7 Hitungan gaya-gaya yang bekerja pada tembok tepi Bendung pengendali dasar sungai	24
Lampiran C Contoh penghitungan	25
Lampiran D Daftar nama dan lembaga	32
Bibliografi	33

Pendahuluan

Sungai yang merupakan suatu sistem saluran yang dibentuk oleh alam untuk mengalirkan air diatas permukaan bumi, juga mengangkut sedimen yang terkandung dalam air tersebut. Sedimen hanyut terbawa oleh aliran air yang dapat dibedakan sebagai endapan dasar (muatan dasar) dan muatan melayang. Muatan dasar senantiasa bergerak sehingga permukaan dasar sungai kadang-kadang naik (agradasi), kadang-kadang juga turun (degradasi).

Untuk mencegah terjadinya degradasi alur sungai, dibangun Bendung Pengendal Dasar Sungai. Bendung pengendali dasar sungai dapat mencegah degradasi dasar sungai yang diakibatkan oleh gerusan. Dengan demikian hal itu dapat mencegah keruntuhan bangunan perkuatan lereng yang ada pada bagian sungai tersebut dan dapat pula mengekang pergeseran alur sungai yang menyebabkan berubahnya arah aliran sungai yang dapat menyebabkan timbulnya gerusan lokal. Apabila lokasi gerusan lokal tersebut tepat di sekitar fondasi suatu bangunan, lapisan dasar fondasi dapat tergerus dan dapat membahayakan stabilitas bangunan tersebut.

Perencanaan teknis bendung pengendali dasar sungai

1 Ruang lingkup

Pedoman ini membahas ketentuan dasar tentang persyaratan untuk mendesain bendung pengendali dasar sungai, terutama pada sungai lahar. Pedoman ini menguraikan beberapa ketentuan yang mencakup.

- a) data dan Informasi yang diperlukan;
- b) persyaratan mengenai fungsi, keamanan hidraulik dan struktur.

2 Acuan normatif

- SNI 03-2851-1991 : Tata cara perencanaan teknis bendung penahan sedimen
- SNI 03-2401-1991 : Tata cara perencanaan bendung
- SNI 03-2415-1991 : Metode penghitungan debit banjir

3 Istilah dan definisi

3.1 Sungai adalah tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari sumber air sampai muara dengan dibatasi kanan dan kirinya sepanjang pengalirannya oleh garis sepadan (PP 35 /1991, Per.Men. PU 63/PRT/1993).

3.2 Bendung pengendali dasar sungai adalah suatu bangunan air dengan kelengkapannya yang dibangun melintang sungai, yang sengaja dibuat untuk mengendalikan alur dan dasar sungai rencana juga untuk melindungi fondasi bangunan air lainnya dari gerusan.

3.3 Aliran adalah gerakan air yang dinyatakan dengan gejala dan parameter.

3.4 Kemiringan dasar sungai rencana adalah kemiringan dasar sungai yang direncanakan akan terjadi.

3.5 Angkutan sedimen adalah pergerakan material batuan dan tanah yang berasal atau berada di lembah, tebing, dan dasar sungai oleh aliran air.

3.6 Desain adalah rangkaian proses pemikiran dalam hal penentuan lokasi, tipe dan ukuran bangunan dengan segala perlengkapannya yang diperlukan sehingga dapat dibangun, dioperasikan, dipelihara dan dipantau agar tetap berfungsi dengan baik sesuai dengan persyaratan yang dikehendaki secara aman, kuat dan stabil terhadap segala faktor yang berpengaruh terhadap bangunan tersebut.

3.7 Morfologi sungai adalah ilmu yang mempelajari tentang geometri, jenis, sifat dan perilaku sungai dengan segala aspek perubahannya dalam dimensi ruang dan waktu, yang menyangkut sifat dinamik sungai dan lingkungannya yang saling berkaitan.

3.8 Struktur tanah adalah keadaan susunan butir tanah yang menghasilkan suatu bentuk ikatan tertentu secara alamiah.

3.9 Sifat struktur tanah adalah keadaan susunan butir tanah yang diuraikan berdasarkan bentuk dan ukuran butir tanah dan derajat ikatannya atau sementasinya.

3.10 Sifat fisik tanah adalah keadaan susunan butir tanah yang ditentukan oleh gabungan antara keadaan gradasi dan struktur tanah, antara lain, sifat infiltrasi, perkolasi, dan erodibilitas yang ditentukan berdasarkan pengujian di laboratorium dan/atau di lapangan dan juga diklasifikasikan dengan/atau tanpa dianalisis.

4 Data dan informasi

Data dan informasi yang diperlukan untuk membuat petunjuk praktis perencanaan teknis bendung pengendali dasar sungai meliputi hal-hal berikut..

4.1 Data topografi

Untuk perencanaan bendung pengendali dasar sungai diperlukan peta topografi 1:25.000 atau peta situasi sungai dengan skala 1:10.000; 1:2.000; Peta ini dipakai untuk mencari Daerah Pengaliran Sungai (DPS) serta stasiun-stasiun hujan yang bersangkutan

4.2 Data hidrologi

Data hidrologi untuk menentukan debit desain dalam perencanaan bendung pengendali dasar sungai dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu

- a) dengan menggunakan data aliran langsung
- b) dengan menggunakan data hujan

4.2.1 Data aliran langsung

Data ini adalah data aliran sungai hasil survai dan penyelidikan hidrometri dengan melakukan pengukuran kecepatan aliran dilapangan dan atau hasil penghitungan hidraulika sungai dengan menggunakan rumus-rumus atau persamaan hidraulik sungai

4.2.2 Data hujan

Data hujan dipergunakan apabila data aliran langsung yang tersedia tidak cukup panjang, tetapi data hujan tersedia cukup panjang. Berdasarkan data hujan yang ada terlebih dahulu dihitung hujan rencana dengan menggunakan cara-cara statistik. Kemudian debit desain dihitung dengan menggunakan metode-metode pedoman yang berlaku.

4.3 Data geoteknik

Data geoteknik yang diperlukan untuk desain bendung pengendali dasar sungai di antaranya

- a) sifat fisik tanah dan batuan di sekitar calon bendung meliputi berat jenis, berat isi, kadar air, konsistensi dan kepadatan, gradasi butiran, keausan, dan kekerasan;
- b) sifat teknik tanah dan batuan meliputi pemampatan, kekuatan geser, modul elastisitas, kelulusan air, dan daya dukung

4.4 Data geometri sungai

Data geometri sungai yang diperlukan untuk desain bendung pengendali dasar sungai di antaranya bentuk dan ukuran dasar sungai terdalam, alur, palung dan lembah sungai secara vertikal dan horizontal (penampang melintang dan memanjang sungai) mencakup parameter panjang, lebar, kemiringan, ketinggian, dan kekasaran.

4.5 Data bangunan

Data bangunan air di hulu dan di hilirnya yang akan terpengaruh oleh bangunan bendung pengendali dasar sungai yang akan di desain.

4.6 Data morfologi sungai

Data dan informasi morfologi sungai yang diperlukan, antara lain dengan memperhatikan faktor-faktor

- a) bentuk dan ukuran alur, palung, lembah;
- b) kemiringan dasar sungai : sungai terjal dan landai;
- c) lokasi daerah aliran : hulu, tengah, hilir, pegunungan dan pedataran;
- d) jenis, sifat lapisan dan material : dasar sungai, tebing dan lembah;
- e) perubahan geometri sungai ke arah vertikal: sungai beragradasi, sungai berdegradasi, sungai tetap;
- f) perubahan geometri sungai ke arah horizontal: sungai berliku, lurus, berjaln;
- g) degradasi atau penurunan dasar alur dan atau palung sungai dengan parameter panjang, lebar dan dalam;
- h) agradasi/sedimentasi atau peninggian dasar alur dan atau palung sungai dengan parameter: panjang, lebar, dan dalam.

4.7 Data bahan bangunan

Pemilihan bahan yang akan digunakan untuk bangunan bendung pengendali dasar sungai dan perlengkapannya perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut. :

- a) sumber dan jumlah yang tersedia;
- b) jenis dan ketahanan umur;
- c) sifat fisik dan teknik bahan bangunan yang terdiri dari berat jenis, gradasi butiran, keausan dan kekasaran, sifat pemadatan, kekuatan geser, persyaratan kualitas, kemudahan pengerjaan, dan nilai ekonomis.

5 Fungsi dan persyaratan

5.1 Fungsi bendung pengendali dasar sungai

Bendung pengendali dasar sungai berfungsi, antara lain, untuk

- a) menstabilkan alur dasar sungai, dalam arti erosi vertikal dan horizontal, untuk melindungi fondasi perkuatan tebing, tanggul sepanjang alur karena naik turunnya dasar sungai dan untuk pengamanan bangunan sungai;
- b) mencegah terjadinya gerusan dan menetapkan arah aliran;
- c) menetapkan kemiringan dasar sungai yang direncanakan.

5.2 Fungsi kelengkapan bendung pengendali dasar sungai

5.2.1 Tubuh bendung

Tubuh bendung pengendali dasar sungai merupakan ambang tetap yang berfungsi untuk mempertahankan dasar sungai, menurunkan daya gerus air sungai, mencegah gerusan dan terjunan dasar sungai, dan menstabilkan dasar sungai.

5.2.2 Peluap

Peluap bendung pengendali dasar sungai berfungsi untuk melewati debit desain.

5.2.3 Lantai kolam olak

Lantai kolam olak mempunyai panjang yang diperlukan, bangunan yang dikehendaki, dan berfungsi untuk menjaga keamanan tubuh bendung pengendali dasar sungai.

5.2.3 Tembok tepi

Tembok tepi berfungsi sebagai penahan tanah, pencegah aliran rembesan samping, dan pengarah arus atau aliran sungai.

5.2.5 Sayap

Tembok sayap berfungsi sebagai pengarah arus, pencegah aliran samping, penahan tanah, atau pengamanan terhadap longsoran tebing.

5.3 Syarat keamanan dan stabilitas

Bendung pengendali dasar sungai dengan kelengkapannya harus didesain dengan baik agar dapat berfungsi seperti tersebut pada subpasal 5.1; 5.2 dengan memperhatikan syarat keamanan yang ditinjau dari segi hidraulik, struktur dan lingkungan

5.3.1 Keamanan hidraulik

Keamanan hidraulik meliputi

- a) keamanan terhadap luapan pelimpah didesain agar bendung pengendali dasar sungai mampu melewati debit banjir desain dengan tinggi jagaan yang cukup (lihat tabel B.1 lampiran B);
- b) keamanan terhadap gerusan lokal, degradasi dasar sungai dan penggerusan tebing, lantai kolam olak harus aman terhadap terjunan dan benturan;
- c) keamanan terhadap perubahan arah aliran, gejala berliku dan berjalannya sungai.

5.3.2 Keamanan struktural

Keamanan struktural meliputi

- a) kekuatan : aman terhadap tegangan dan regangan yang terjadi;
- b) kestabilan : stabil dan aman terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah fondasi

5.3.3 Keamanan lingkungan

Kendala lingkungan yang perlu dipertimbangkan dalam desain diantaranya penambangan galian C dari sungai, pembuangan material, dan perubahan alur sungai yang terjadi.

6 Ketentuan-ketentuan

6.1 Tata letak

Tata letak bendung pengendali dasar sungai harus memenuhi ketentuan–ketentuan, sebagai berikut.

- a) lokasi bendung pengendali dasar sungai harus direncanakan pada tempat yang dasar sungainya dikhawatirkan akan turun;
- b) di sekitar titik pertemuan kedua sungai dengan lokasi di sebelah hilirnya;
- c) untuk melindungi fondasi dan bentuk konstruksi lainnya, lokasi bendung pengendali dasar sungai harus dibangun disebelah hilirnya;
- d) direncanakan pada alur sungai yang tidak stabil dan diharapkan alur dapat diatur dan stabil oleh konstruksi bendung pengendali dasar sungai;
- e) sumbu bendung pengendali dasar sungai didesain tegak lurus dengan alur sungai disebelah hilirnya.

6.2 Bentuk dan dimensi

Bentuk dan dimensi bendung pengendali dasar sungai serta kelengkapannya harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut.

6.2.1 Bentuk bendung pengendali dasar sungai

Bentuk bendung pengendali dasar sungai membujur ke arah lebar sungai, disesuaikan dengan bentuk penampang melintang sungai dan sifat tanah dasarnya. Panjang bendung pengendali dasar sungai harus dapat menutup seluruh lebar sungai dengan baik, dan bagian pangkal bendung pengendali dasar sungai harus didesain agar bangunan aman terhadap bahaya gerusan dan erosi buluh.

6.2.2 Bendung utama

Tinggi bendung utama disarankan maksimum lima meter, ditentukan dengan pedoman pada keadaan dasar sungai yang ada, dan kecenderungannya di masa yang akan datang.

6.2.3 Peluap

Bentuk peluap harus dibuat trapesium, lebar peluap harus lebih kecil daripada lebar sungai, tinggi peluap ditentukan berdasarkan debit desain dan tinggi jagaan, dan tinggi jagaan harus diambil sesuai dengan tabel B.1 lampian B.

6.2.4 Mercu

Mercu peluap harus cukup kuat untuk menahan benturan dan abrasi, serta bentuk mercu harus ambang lebar, dan sudutnya tidak dibulatkan

6.2.5 Tubuh bendung

Kemiringan bagian hulu dari bendung utama harus ditentukan berdasarkan syarat stabilitas bangunan dan untuk itu dapat digunakan persamaan (2). Kemiringan bagian hilir bendung utama ditentukan agar aliran tidak menyusur permukaan bagian hilirnya, perbandingan tegak dan datar 1 : n, nilai standard indek $n = 0.2$, atau harga n dapat ditentukan dengan persamaan (3)

6.2.6 Sayap

Banjir yang melimpas di atas sayap bendung pengendali dasar sungai, akan merusak bagian tebing, atau merusak subdam dan tembok tepi. Oleh karena itu sayap bendung pengendali dasar sungai direncanakan sebagai sayap yang tidak dilimpasi banjir dan mempunyai kemiringan ke arah kedua sisinya. Untuk itu, sayap tersebut harus memenuhi ketentuan sebagai berikut.

- a) kemiringan sayap ke arah tebing minimum sama dengan kemiringan dasar sungai di hulu bendung dan maksimum 10 %;
- b) panjang sayap sebelah kiri dan kanan boleh tidak sama, dan ditentukan berdasarkan letak sumbu aliran;
- c) lebar sayap harus sama mulai dari pangkal sampai ke ujungnya;
- d) sisi hulu sayap harus dibuat tegak;
- e) sisi hilir sayap boleh tegak atau miring dan dibuat sama dengan kemiringan sisi hilir bendung utama;
- f) lebar sayap bagian atas maksimum sama dengan lebar mercu, minimum ditentukan berdasarkan gaya-gaya akibat benturan.

6.2.7 Subdam

Subdam meliputi hal-hal berikut.

- a) bentuk mercu dan kemiringan hilir subdam sama dengan bentuk bendung utama;
- b) dimensi subdam disesuaikan dengan gaya-gaya yang bekerja;
- c) tinggi subdam ditentukan berdasarkan persamaan enersi (hidraulik) dan atau persamaan empiris.

6.2.8 Kolam olak

Kolam olak meliputi hal-hal berikut.

- a) bentuk kolam olak harus dibuat berdasarkan gaya-gaya yang diakibatkan oleh terjunan (lihat contoh Gambar A5 lampiran A);
- b) lebar kolam olak ditentukan sesuai dengan lebar, tinggi, dan kemiringan dinding peluap (lihat contoh Gambar A.6 lampiran A);
- c) panjang kolam olak ditentukan menurut persamaan 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, dan 12;
- d) tebal lantai kolam olak ditentukan sesuai dengan persamaan 13 dan 14.

6.2.9 Bangunan pelengkap

Tembok tepi harus didesain berdasarkan gaya-gaya yang bekerja dan cukup kuat terhadap gaya-gaya akibat aliran air dan sedimen.

6.3 Gaya-gaya yang bekerja

Gaya-gaya yang bekerja pada bendung pengendali dasar sungai ditentukan sebagai berikut.:

- a) berupa tekanan air dan sedimen, berat sendiri serta tekanan tanah;
- b) harus sesuai dengan tabel B 6.

7 Perencanaan teknis bendung pengendali dasar sungai

7.1 Persamaan

Persamaan yang digunakan untuk perencanaan teknis bendung pengendali dasar sungai adalah sebagai berikut.

7.1.1 Persamaan untuk menentukan dimensi peluap

$$Q = 2/15 \cdot C \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (3 \cdot B_1 + 2 \cdot B_2) \cdot h_3^{3/2} \dots\dots\dots (1)$$

dengan pengertian :

Q adalah debit desain (m³/dt)
 C adalah koefisien peluap (0,6 – 0,66)
 g adalah percepatan gravitasi (9,8 m/dt²)
 B₁ adalah lebar peluap bagian bawah (m)
 B₂ adalah lebar muka air di atas peluap (m)
 h₃ adalah tinggi air di atas peluap bendung utama (m)
 m₂ adalah kemiringan tepi peluap
 (lihat contoh Gambar A.6 lampiran A)

7.1.2 Persamaan untuk menentukan kemiringan bagian hulu dari bendung utama

$$(1 + \alpha) \cdot m^2 + \{ 2(n + \beta) + n \cdot (4\alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta \} \cdot m - (1 + 3 \cdot \alpha) + \alpha \cdot \beta \cdot (4n + \beta) + \gamma \cdot (3 \cdot n \cdot \beta + \beta^2 + n^2) = 0 \dots\dots\dots (2)$$

dengan pengertian :

n adalah kemiringan tubuh bendung utama bagian hilir
 α adalah perbandingan tinggi air di atas peluap dan tinggi bendung pengendali dasar sungai
 m adalah kemiringan tubuh bendung utama bagian hulu
 β adalah perbandingan lebar mercu peluap dan tinggi bendung pengendali dasar sungai
 γ adalah perbandingan γ_c dan γ_0
 γ_c adalah berat volume bahan bendung (t/m³)
 γ_0 adalah berat volume aliran air (1 – 1,2 t/m³)
 (lihat contoh Gambar A.3 lampiran A)

7.1.3 Persamaan untuk menentukan batas kemiringan tubuh bendung bagian hilir

$$n_{\max} = V_g \cdot \sqrt{2/g \cdot H} \dots\dots\dots (3)$$

dengan pengertian :

n_{max} adalah kemiringan tubuh bendung utama bagian hilir
 H adalah tinggi total bendung utama (m)
 V_g adalah komponen horizontal untuk kecepatan kritis (m/dt)
 g adalah percepatan gravitasi (m/dt²)
 (lihat contoh gambar A.4 lampiran A)

7.1.4 Persamaan untuk menentukan panjang kolam olak

a) persamaan hidraulik

$$L = l_w + X + b_2 \dots\dots\dots (4)$$

$$l_w = V_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (H_1 + 1/2 \cdot h_3)}{g}} \dots\dots\dots (5)$$

$$V_0 = q_0 / h_3 \dots\dots\dots (6)$$

$$X = \beta \cdot h_j \dots\dots\dots (7)$$

$$h_j = h_1 / 2 \cdot \{ \sqrt{1 + 8 \cdot F_{r1}^2} - 1 \} \dots\dots\dots (8)$$

$$h_1 = q_1 / V_1 \dots\dots\dots (9)$$

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (H_1 + h_3)} \dots\dots\dots (10)$$

$$F_{r1} = V_1 / \sqrt{g \cdot h_1} \dots\dots\dots (11)$$

dengan pengertian :

l_w adalah jarak terjunan (m)

X adalah panjang loncatan air (m)

b_2 adalah lebar mercu subdam (m)

q_0 adalah debit per meter pada peluap ($m^3/det/m$)

h_3 adalah tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

H_1 adalah tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m)

β adalah koefisien besarnya (4,5 – 5,0)

h_j adalah tinggi dari permukaan lantai kolam olak (permukaan batuan dasar) sampai ke muka air di atas mercu subdam

h_1 adalah tinggi air pada titik jatuh terjunan (m)

q_1 adalah debit aliran tiap meter lebar pada titik jatuh terjunan ($m^3/dt/m$)

V_1 adalah kecepatan jatuh pada terjunan (m/dt)

F_{r1} adalah angka *Froude* aliran pada titik terjunan

(lihat contoh Gambar A.5 lampiran A)

b) persamaan empiris

$$L = (1,5 \text{ s/d } 2,0) \times (H_1 + h_3) \dots\dots\dots (12)$$

Dengan pengertian :

L adalah jarak bendung utama dan subdam (m)

H_1 adalah tinggi bendung utama dari permukaan lantai kolam olak (m)

h_3 adalah tinggi air di atas peluap bendung utama

(lihat contoh gambar A.5 lampiran A)

7.1.5 Persamaan untuk menentukan tebal lantai kolam olak

a) untuk kolam olak tanpa subdam

$$t = 0,2 \cdot (0,6 \cdot H_1 + 3 \cdot h_3 - 1) \dots\dots\dots (13)$$

b) untuk kolam olak dengan subdam

$$t = 0,1 \cdot (0,6 \cdot H_1 + 3 \cdot h_3 - 1) \dots\dots\dots (14)$$

dengan pengertian :

t adalah tebal lantai kolam olak (m)

H_1 adalah tinggi bendung utama dari permukaan lantai kolam olak (m)

h_3 adalah tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

7.1.6 Persamaan untuk menentukan tinggi subdam

a) dengan persamaan hidraulik

$$d/h_1 = \left[\left\{ (1 + 2 F_{r1}^2) \times (1 + 8 \cdot F_{r1}^2)^{1/2} - 5 \cdot F_{r1}^2 - 1 \right\} / \left\{ (1 + 4 F_{r1}^2) - (1 + 8 \cdot F_{r1}^2)^{1/2} \right\} - 3/2 \cdot F_{r1}^{2/3} \right] \dots\dots\dots (15)$$

(lihat contoh Gambar A.5 lampiran A)

dengan pengertian :

d adalah tinggi subdam (m)

h_1 adalah tinggi air pada titik jatuh terjun (m)

F_{r1} adalah angka *Froude* aliran pada titik terjun

b) dengan persamaan empiris

$$d = (1/3 \text{ s/d } 1/4) \times H - t \dots\dots\dots (16)$$

dengan pengertian :

d adalah tinggi subdam

H adalah tinggi total bendung utama

t adalah tebal lantai kolam olak

7.2 Penghitungan dimensi bendung pengendali dasar sungai

7.2.1 Peluap

$$Q = 2/15 \cdot C \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (3 \cdot B_1 + 2 \cdot B_2) \cdot h_3^{3/2}$$

Jika $C = 0,60$

$m_2 = 0,50$ —————> rumus menjadi

$$Q = (0,71 h_3 + 1,77 B_1) \cdot h_3^{2/3} \dots\dots\dots (17)$$

$$Q = Q_p (1 + \alpha)$$

Dengan cara coba-coba masukkan harga h_3 akan didapat besarnya debit desain yang sesuai

dengan pengertian :

Q adalah debit desain (m^3/dt)

Q_p adalah debit air desain (m^3/dt)

α adalah konsentrasi sedimen

B_1 adalah lebar peluap bagian bawah (m)

B_2 adalah lebar muka air di atas peluap (m)

m_2 adalah kemiringan tepi peluap

h_3 tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

7.2.2 Lebar mercu peluap

$$b = n/f \cdot \gamma_w / \gamma_c \cdot (t + \Delta t / 2) \cdot (1 + 4 V^2 / 100)$$

$$V = Q / A$$

$$b = (2 - 3) / 0.8 \cdot \gamma_w / \gamma_c \cdot (t + \Delta t / 2) \cdot (1 + 4 (Q/A)^2 / 100) \dots\dots\dots (18)$$

dengan pengertian :

n adalah koefisien keamanan (2 - 3)

Δ adalah dalamnya sekoring di depan mercu (m)

V adalah kecepatan aliran saat banjir (m/dt)

f adalah koefisien gesekan dalam titik bendung (0,80)

γ_w adalah berat volume aliran air ($1 - 1,2 t/m^3$)

γ_c adalah berat volume bendung (t/m^3)

t adalah tinggi muka di depan mercu (m)

b adalah lebar mercu peluap (m)

Q adalah debit desain (m^3/dt)

A adalah luas penampang peluap (m^2)

Penentuan lebar mercu peluap dapat dilakukan dengan memperhatikan kondisi material dan hidrologis setempat (lihat tabel B.2 lampiran B).

7.2.3 Kemiringan bagian hulu bendung utama

$$(1 + \alpha) \cdot m^2 + \{2(n + \beta) + n \cdot (4\alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta\} \cdot m - (1 + 3 \cdot \alpha) + \alpha \cdot \beta \cdot (4n + \beta) + \gamma \cdot (3 \cdot n \cdot \beta + \beta^2 + n^2) = 0$$

$$\alpha = h_3/H; \quad \beta = b_1/H; \quad \gamma = \gamma_c / \gamma_w$$

$$m = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \dots\dots\dots (19)$$

dengan pengertian :

h_3 adalah tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

b_1 adalah lebar mercu bendung utama

a adalah $(1 + \alpha)$

b adalah $\{2(n + \beta) + n \cdot (4\alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta\}$

c adalah $-(1 + 3 \cdot \alpha) + \alpha \cdot \beta \cdot (4n + \beta) + \gamma \cdot (3 \cdot n \cdot \beta + \beta^2 + n^2)$

7.2.4 Kemiringan bagian hilir bendung utama

batu jatuh pada ujung kaki tubuh bendung sebagai

$$X - n \cdot H = 0$$

$$n \cdot H = X$$

$$n_{\max} = X/H$$

hukum Newton $X = V_g \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}$

$$n_{\max} = V_g \cdot \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}}{H}$$

$$= V_g \cdot \sqrt{\frac{2}{g \cdot H}}$$

(lihat contoh Gambar A.4 lampiran A)

Kemiringan tubuh bendung utama bagian hilir biasanya diambil 1:0,20 sebagai standar. Hal itu dimaksudkan untuk menghindari batu-batu besar yang jatuh dari peluap memukul bagian hilirnya, dan tidak menimbulkan gaya abrasi pada permukaan tubuh bendung bagian hilirnya.

7.2.5 Tembok tepi

Untuk mendapatkan harga koefisien tekanan tanah, dipakai cara dengan persamaan rumus Coulomb yang digunakan, yaitu sebagai berikut.

$$G = H/2 \cdot (DC + DB) \cdot \gamma_c \dots\dots\dots (20)$$

$$L_w = \{ (DB^2 + DB \cdot DC + DC^2) / (3 \cdot (DB + DC)) \} + (n \cdot H/3) \cdot \{ (DB + 2 \cdot DC) / (DB + DC) \} \dots\dots\dots (21)$$

$$h_w = H/3 \{ (DB + 2 \cdot DC) / (DB + DC) \} \dots\dots\dots (22)$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma_s \cdot H^2 \dots\dots\dots (23)$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos^2 \theta \cdot \cos(\theta + \delta) \cdot \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \cdot \cos(\theta - \alpha)}} \right\}^2} \dots\dots\dots (24)$$

$$L_e = DB + 1/3 \cdot H \cdot m \dots\dots\dots (25)$$

$$h_e = H/3 \dots\dots\dots (26)$$

$$P_{a.H} = P_a \cdot \sin(90^\circ - \delta - 0) \dots\dots\dots (27)$$

$$P_{a.V} = P_a \cdot \cos(90^\circ - \delta - 0) \dots\dots\dots (28)$$

Dengan pengertian :

G adalah berat sendiri tembok tepi (t)

H adalah tinggi tembok tepi (m)

DC adalah lebar mercu tembok tepi (m)

DB adalah lebar dasar tembok tepi (m). (DB = DC + n.H – m.H)

γ_c adalah berat volume tembok tepi (t/m³)

γ_s adalah berat volume tanah (t/m³)

l_w adalah jarak horizontal antara titik gaya berat sendiri dan pusat momen (m)

h_w adalah jarak vertikal antara titik gaya berat sendiri dan pusat momen (m)

P_a adalah tekanan tanah (t)

K_a adalah koefisien tekanan tanah

θ adalah sudut kemiringan dalam tembok tepi ($^\circ$)

ϕ adalah sudut geser dalam tanah ($^\circ$)

δ adalah sudut geser antara tembok tepi dan tanah ($^\circ$)

α adalah sudut antara bidang horizontal dan permukaan tanah di belakang tembok ($^\circ$)

L_e adalah jarak horizontal antara titik gaya tekanan tanah dan pusat momen (m)

h_e adalah jarak vertikal antara titik gaya tekanan tanah dan pusat momen (m)

$P_{a.H}$ adalah tekanan tanah horizontal (t)

$P_{a.V}$ adalah tekanan tanah vertikal (t)

(lihat contoh Gambar A.2 lampiran A)

7.3 Penghitungan stabilitas

Untuk menghitung stabilitas bendung utama harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut. ini :

7.3.1 Stabil terhadap guling

$$X = M / P_v$$

$$e = X - D/2$$

pada umumnya besarnya X di syaratkan $D/3 < X < 2D/3$

atau $e < 1/6 \cdot D$

$$S_F = \Sigma M_v / \Sigma M_H \dots\dots\dots (29)$$

dengan pengertian :

X adalah jarak dari tumit bendung tepi (hulu) sampai ke titik tangkap resultan gaya (m)

e adalah jarak dari as sampai ke titik tangkap resultan gaya (m)

M_v adalah jumlah momen yang menahan (tm)

M_H adalah jumlah momen yang menggulingkan (tm)

M adalah momen total ($M_v - M_H$) (tm)

P_v adalah gaya vertikal total (t)

D adalah lebar dasar bendung utama (m)
 S_F adalah faktor keamanan terhadap guling (S_F 1,2 sesuai dengan Tabel B.4 tinggi bendung <15 m)

7.3.2 Stabil terhadap geser

$$SF_{\text{geser}} = (f \cdot P_V + \tau_0 \cdot l) / P_H \dots\dots\dots (30)$$

Dengan pengertian :

SF_{geser} adalah faktor keamanan terhadap geser yang disesuaikan dengan Tabel B.4

P_V adalah gaya vertikal total (t)

P_H adalah gaya horizontal total (t)

f adalah koefisien geser antara dasar badan bendung dan tanah dasar yang disesuaikan dengan tabel B.5

τ_0 adalah tegangan geser badan bendung pada tanah dasar yang disesuaikan dengan Tabel B.5

l adalah panjang bidang geser (m)

7.3.3 Stabil terhadap daya dukung tanah fondasi

$$\sigma_1 = (P_V / D) \cdot (1 + 6 \cdot e / D) \dots\dots\dots (31)$$

$$\sigma_2 = (P_V / D) \cdot (1 - 6 \cdot e / D) \dots\dots\dots (32)$$

dengan pengertian :

σ_1 adalah tegangan vertikal pada ujung hilir bendung (t/m^2)

σ_2 adalah tegangan vertikal pada ujung hulu bendung (t/m^2)

P_V adalah gaya vertikal total (t)

D adalah lebar dasar bendung utama (m)

e adalah eksentrisitas resultan gaya yang bekerja ($X - D/2$) (m)

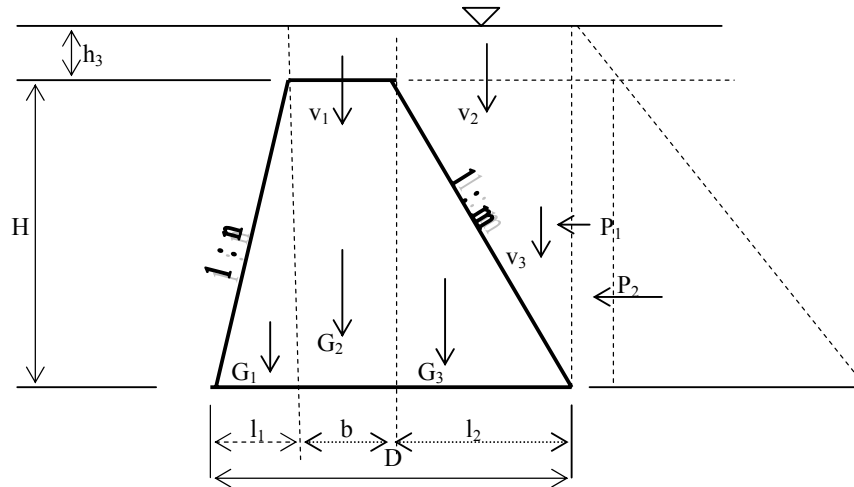
X adalah jarak ujung hulu sampai titik tangkap resultan gaya (m)

7.4 Stabilitas tembok tepi

untuk menghitung stabilitas tembok tepi terhadap guling, geser, dan daya dukung, caranya sama dengan menghitung stabilitas bendung utama (lihat contoh Gmbar A.2 dan tabel B.7)

Lampiran A

Gambar



Gambar A.1 Gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendung

Keterangan gambar :

$G_1; G_2; G_3$ adalah beban berat sendiri bendung (ton)

$v_1; v_2; v_3$ adalah tekanan air statik pada komponen vertikal (ton)

$P_1; P_2$ adalah tekanan air statik pada komponen horizontal (ton)

h_3 adalah tinggi muka air di atas mercu (m)

H adalah tinggi total bendung (m)

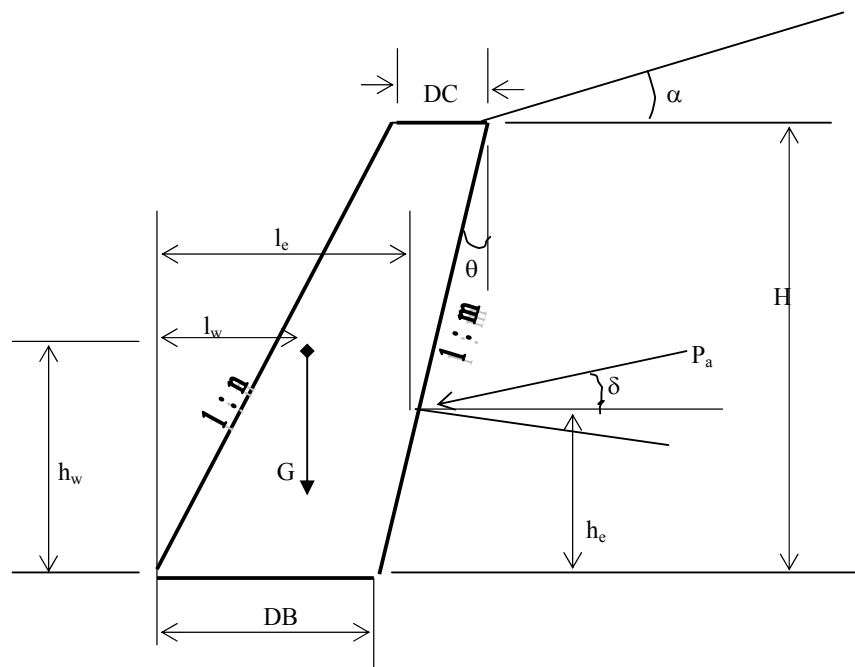
l_1 adalah jarak ujung kaki bendung sebelah hilir sampai mercu bendung sebelah hilir ($n \times$ tinggi total bendung) (m)

b adalah lebar mercu bendung (m)

l_2 adalah jarak ujung kaki bendung sebelah hulu sampai mercu bendung sebelah hulu ($m \times$ tinggi total bendung) (m)

D adalah lebar dasar bendung (m)

($DB = DC + n.H - m.H$)



Gambar A.2 Gaya-gaya yang bekerja pada tembok tepi

Keterangan gambar :

DC adalah lebar mercu tembok tepi (m)

DB adalah lebar dasar tembok tepi (m)

h_w adalah jarak vertikal antara titik gaya berat sendiri dan pusat momen (m)

G adalah berat sendiri tembok tepi (ton)

h_e adalah jarak vertikal antara titik gaya tekanan tanah dan pusat momen (m)

L_e adalah jarak horizontal antara titik gaya tekanan tanah dan pusat momen (m)

H adalah tinggi tembok tepi (m)

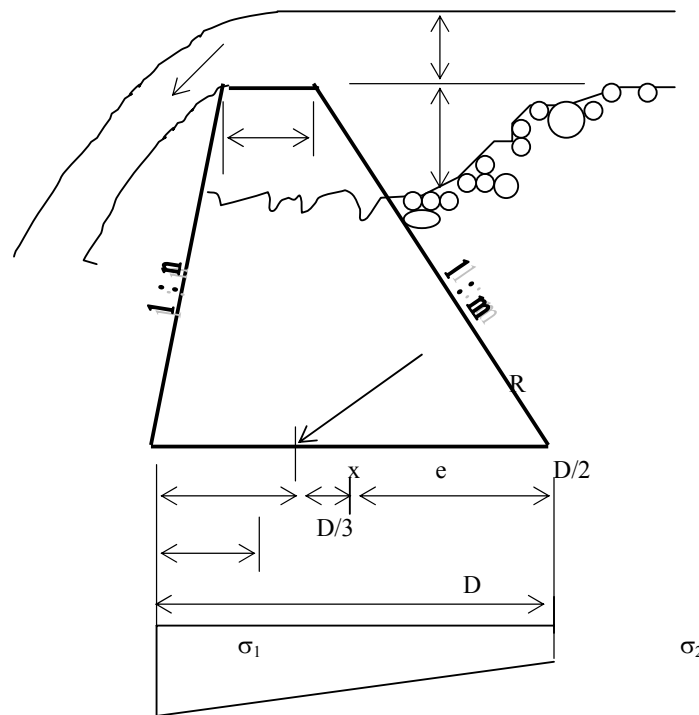
P_a adalah tekanan tanah (ton)

L_w adalah jarak horizontal antara titik gaya berat sendiri dan pusat momen (m)

α adalah sudut antara bidang horizontal dengan permukaan tanah di belakang tembok ($^{\circ}$)

θ adalah sudut kemiringan dalam tembok tepi ($^{\circ}$)

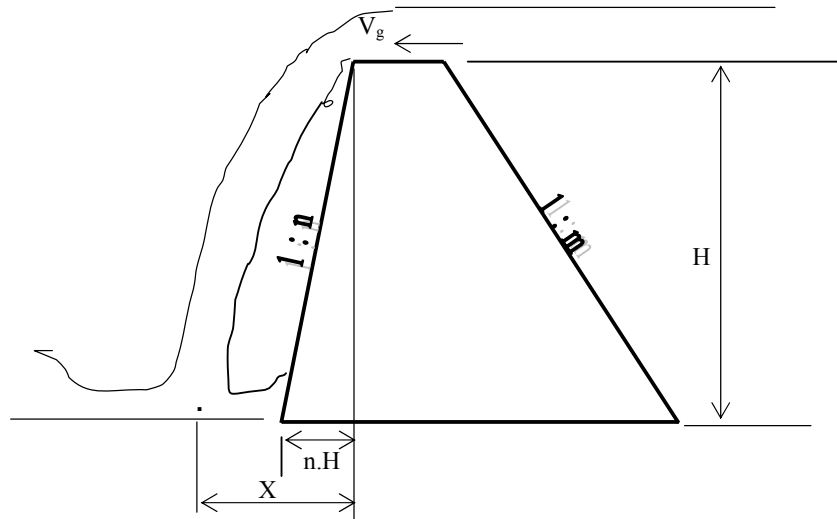
δ adalah sudut geser antara tembok tepi dengan tanah ($^{\circ}$)



Gambar A.3 Stabilitas bendung

Keterangan gambar :

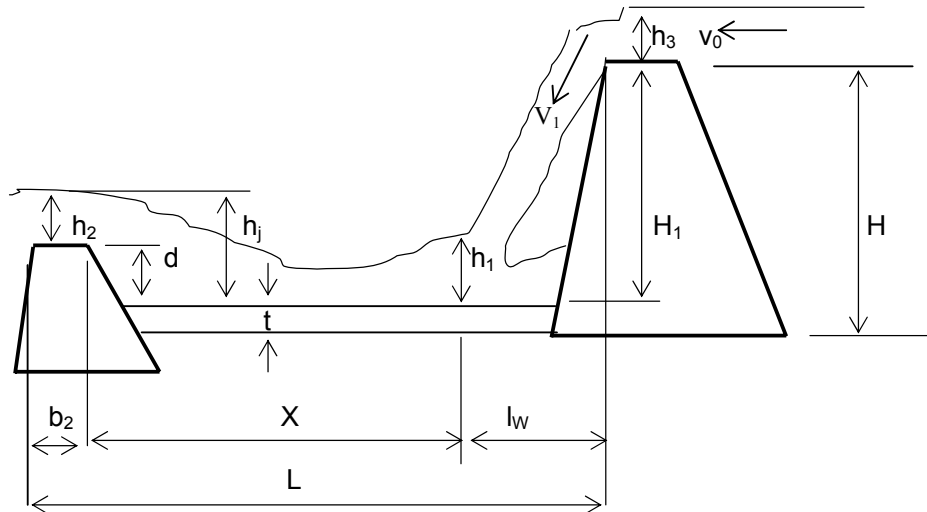
- V adalah kecepatan aliran saat banjir (m/dt)
- b adalah lebar mercu peluap (m)
- t adalah tinggi muka air di depan mercu (m)
- Δt adalah dalamnya sekoring di depan mercu (m)
- X adalah jarak ujung hulu sampai titik tangkap resultan gaya (m)
- e adalah jarak eksentrisitas resultan gaya yang bekerja $X - D/2$ (m)
- $D/2$ adalah setengah lebar dasar bendung (m)
- $D/3$ adalah sepertiga lebar dasar bendung (m)
- σ_1 adalah tegangan vertikal pada ujung hilir bendung (t/m^2)
- σ_2 adalah tegangan vertikal pada ujung hulu bendung (t/m^2)
- R adalah resultan gaya (ton)



Gambar A.4 Batas kemiringan tubuh bendung

Keterangan gambar :

- V_g adalah komponen horizontal untuk kecepatan kritis (m/dt)
- n adalah kemiringan tubuh bendung utama bagian hilir
- m adalah kemiringan tubuh bendung utama bagian hulu
- H adalah tinggi total bendung utama (m)
- $n.H$ adalah jarak antara ujung kaki tubuh bendung bagian hilir dan mercu bendung sebelah hilir (m)
- X adalah jarak batu jatuh pada sebelah hilir ujung kaki tubuh bendung (m)



Gambar A.5 Panjang kolam olakan

Keterangan gambar :

V_0 adalah kecepatan aliran (m/dt)

h_3 adalah tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

V_1 adalah kecepatan jatuh pada terjunan (m/dt)

h_1 adalah tinggi air pada titik jatuh terjunan (m)

h_j adalah tinggi loncatan air dari permukaan lantai kolam olak (permukaan batuan dasar) sampai muka air di atas mercu subdam (m)

h_2 adalah tinggi air di atas mercu subdam (m)

d adalah tinggi subdam (m)

t adalah tebal lantai kolam olak (m)

H_1 adalah tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m)

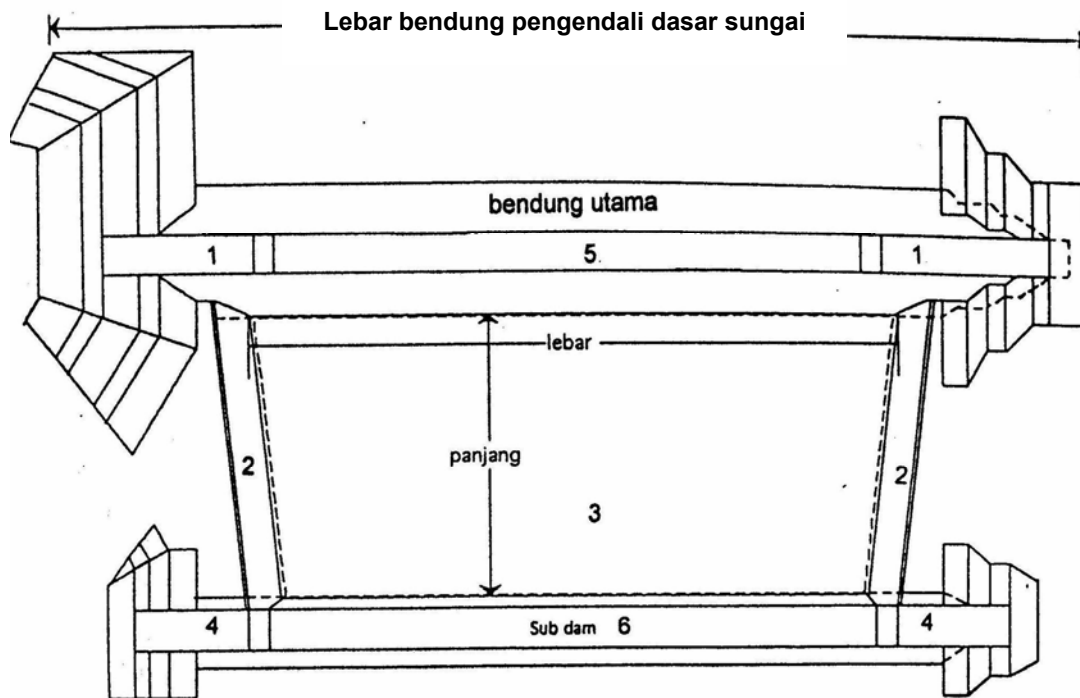
H adalah tinggi total bendung utama (m)

b_2 adalah lebar mercu subdam (m)

X adalah panjang loncatan air (m)

l_w adalah jarak terjunan (m)

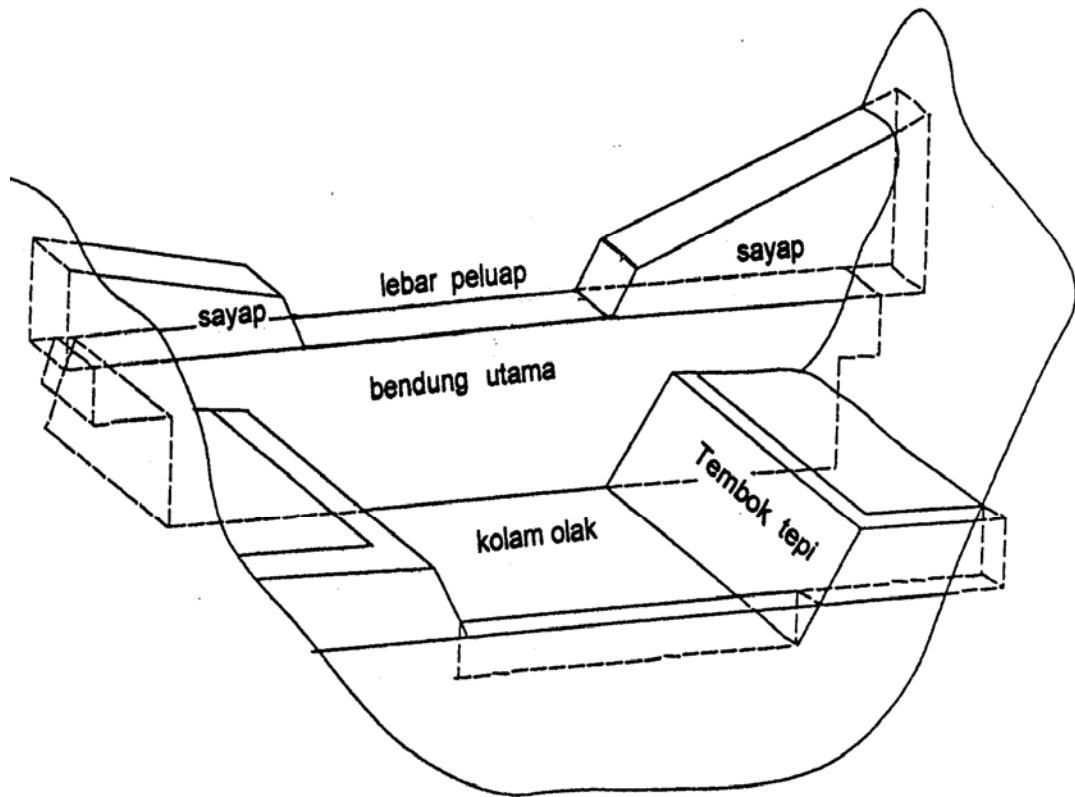
L adalah panjang kolam olakan (m)



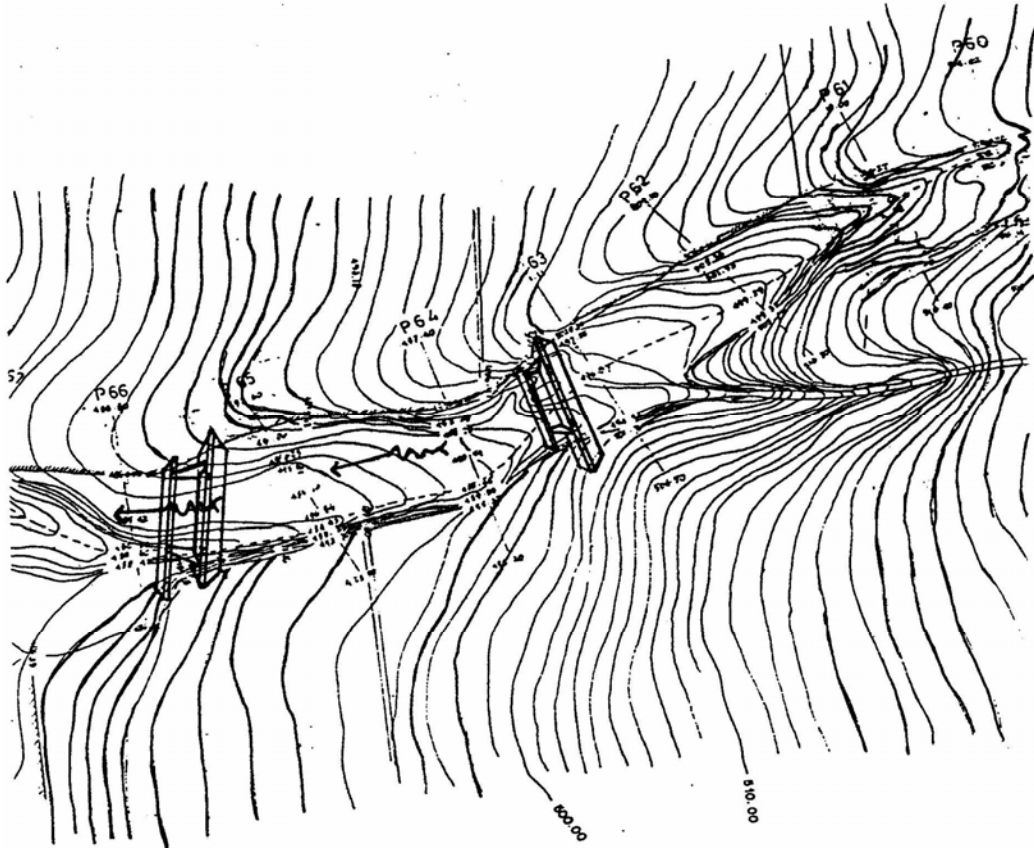
Gambar A. 6 Bendung pengendali dasar sungai dan bangunan kelengkapannya

Keterangan gambar :

1. sayap bendung utama
2. tembok tepi
3. kolam olak
4. sayap subdam
5. peluap bendung utama
6. peluap subdam



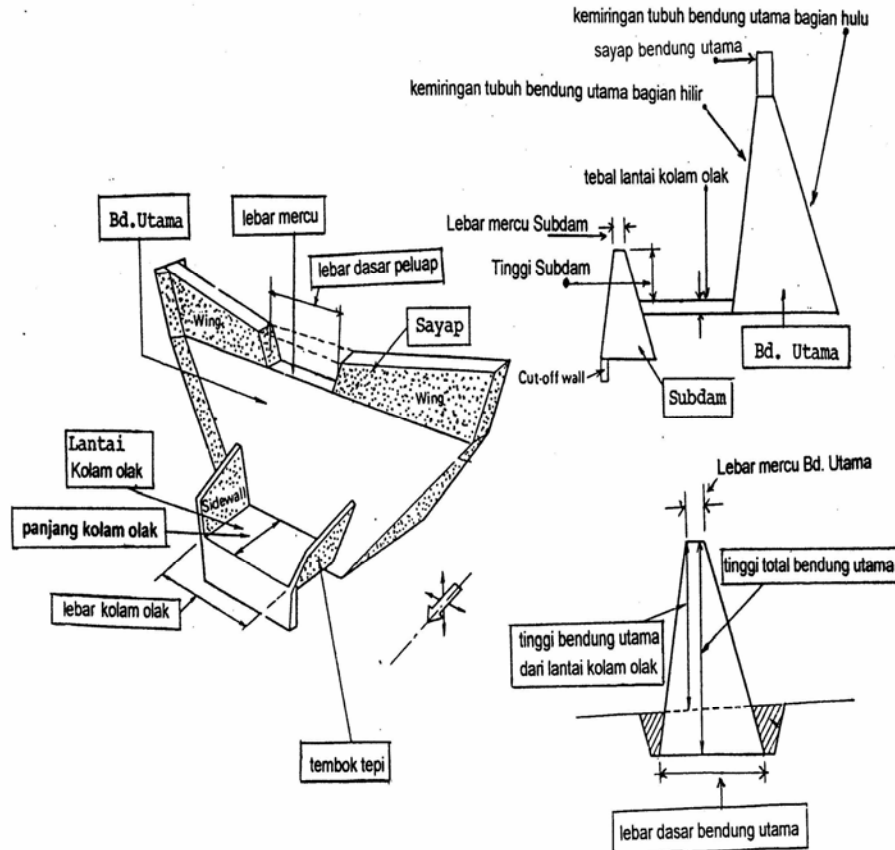
Gambar A. 7 Gambar stereometri bendung pengendali dasar sungai



Gambar A. 8 Tata letak bendung pengendali dasar sungai

Keterangan gambar :

- Bendung pengendali dasar sungai diletakkan di sebelah hilir pertemuan dua sungai.
- Sumbu bendung tegak lurus dengan arus sungai bagian hilir.



Gambar A. 9 Gambar detail bendung pengendali dasar sungai

Lampiran B

Tabel

Tabel B.1 Tinggi jagaan pada peluap

Debit desain (m ³ / dt)	50	50 - 100	100 - 200	200 - 500	500 - 2000
Tinggi jagaan (meter)	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50

Tabel B. 2 Penentuan lebar mercu

Lebar mercu : b	1,50 – 2,00 meter	3,00 – 4,00 meter
Sedimen	Pasir dan kerikil atau kerikil dan batu – batu kecil	Batu – batu besar
Sifat hidraulik aliran	Gerakan mandiri (lepas)	Gerakan massa (<i>debris flow</i>)

Tabel B. 3 Gaya-gaya yang bekerja pada bendung pengendali dasar sungai

Tinggi bendung	Keadaan biasa (debit normal)	Keadaan debit banjir
< 15 meter	-	1. Berat sendiri 2. Tekanan air statik

Tabel B. 4 Angka keamanan terhadap geser yang disarankan

Jenis tanah dasar	Angka keamanan Sf	Tinggi bendung
Batuan cukup kompak	4	-
Fondasi apung	1,20	< 15 meter
Fondasi apung	1,50	> 15 meter

Tabel B. 5 Daya dukung tanah yang di ijin dan koefisien geser

Klasifikasi fondasi		Daya dukung tanah (t/m^2)	Koefisien geser	C a t a t a n	
				Kekuatan tekan bebas <i>unconfined compressive strength</i>	Nilai N – SPT
Batuan dasar	Batuan keras dengan sedikit retak	100	0,70	$> 1.000 t/m^2$	-
	Batuan keras dengan banyak retak	60	0,70	$> 1.000 t/m^2$	-
	Batuan lunak atau <i>mudstone</i>	30	0,70	$> 100 t/m^2$	-
Lapisan kerikil	Kompak	60	0,60	-	-
	Tidak kompak	30	0,60	-	-
Lapisan pasir	Kompak	30	0,60	-	30 – 50
	Kurang kompak	20	0,50	-	15 - 30
Lapisan tanah liat	Keras	10	0,45	$10 - 20 t/m^2$	8 - 15
	Kurang keras	5	-	$5 - 10 t/m^2$	4 – 8
	Sangat keras	20	0,50	$20 - 40 t/m^2$	15 - 30

Tabel B. 6 Hitungan gaya-gaya yang bekerja pada bendung pengendali dasar sungai < 5 meter (kondisi biasa dan banjir)

Beban	Notasi	Gaya	V	H	Lengan	Momen
Berat sendiri	G_1	$\frac{1}{2} \cdot \gamma_C \cdot H \cdot nH$	+		$\frac{2}{3} \cdot nH$	+
	G_2	$b \cdot \gamma_C \cdot H$	+		$nH + \frac{1}{2} \cdot b$	+
	G_3	$\frac{1}{2} \cdot \gamma_C \cdot H \cdot mH$	+		$nH + b + \frac{1}{3} mH$	+
Tekanan air statik pada komponen vertikal	V_1	$h_3 \cdot b \cdot \gamma_w$	+		$nH + \frac{1}{2} b$	+
	V_2	$h_3 \cdot mH \cdot \gamma_w$	+		$nH + b + \frac{1}{2} mH$	+
	V_3	$\frac{1}{2} H \cdot mH \cdot \gamma_w$	+		$nH + b + \frac{2}{3} mH$	+
Tekanan air statik pada komponen horizontal	P_1	$\gamma_w \cdot h_3 \cdot H$		-	$\frac{1}{2} \cdot H$	-
	P_2	$\frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H^2$		-	$\frac{1}{3} \cdot H$	-

dengan pengertian :

b adalah lebar mercu bendung (m)

γ_C adalah berat volume tubuh bendung pengendali dasar sungai (t/m^3)

γ_w adalah berat volume aliran air ($1 - 1,2 t/m^3$)

m adalah kemiringan bagian hulu bendung utama

n adalah kemiringan bagian hilir bendung utama

H adalah tinggi total bendung utama (m)

h_3 adalah tinggi muka air di atas mercu (m)

Catatan : lengan momen diperhitungkan terhadap titik penggulingan ke arah hilir (lihat contoh Gambar A.1 Lampiran A)

Tabel B. 7 Hitungan gaya-gaya yang bekerja pada tembok tepi Bendung pengendali dasar sungai

Beban	Simbol	Gaya	V	H	Lengan	Momen
Berat sendiri	G	Rumus 20	+		Rumus 21	+
Tekanan tanah vertikal	P_aV	Rumus 28	+		Rumus 25	+
Tekanan tanah horizontal	P_aH	Rumus 27		-	Rumus 26	-

(Lihat contoh Gambar A.2 Lampiran A)

Lampiran C

Contoh penghitungan

Suatu bendung pengendali dasar sungai akan dibangun di suatu sungai untuk mencegah terjadinya degradasi dasar sungai. Data yang ada adalah sebagai berikut.

Daerah tangkapan sungai	: A = 10 Km ²
Kemiringan dasar sungai	: I = 0,025
Lebar sungai	: B = 80 m
Lebar peluap	: B ₁ = 50 m
Debit banjir	: Q _P = 200 m ³ /det
Konsentrasi sedimen	: α = 0,02

Debit desain dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut.

$$Q_{\text{desain}} = (1 + \alpha) \times Q_P = (1 + 0,02) \times 200 = 204 \text{ m}^3/\text{det}$$

1. Penghitungan dimensi peluap

$$Q_{\text{desain}} = 2/15 \cdot C \cdot (2 \cdot g)^{1/2} \cdot (3 \cdot B_1 + 2 \cdot B_2) \cdot h_3^{3/2}$$

Jika C = 0,60

m₂ = 0,50 → rumus menjadi

$$Q_{\text{desain}} = (0,71 h_3 + 1,77 B_1) \cdot h_3^{3/2} \dots\dots\dots (17)$$

$$204 = (0,71 h_3 + 1,77 \times 50) \times h_3^{3/2}$$

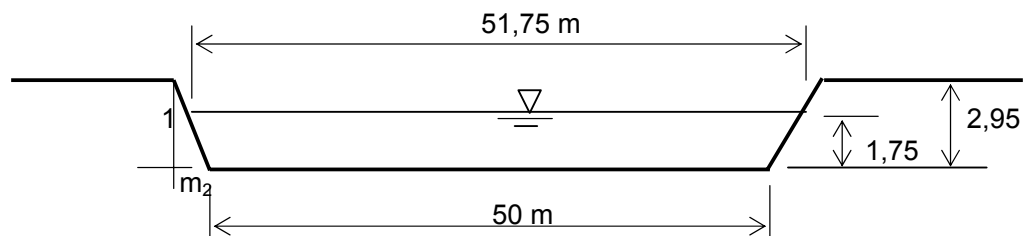
$$204 = 0,71 h_3^{5/2} + 88,5 h_3^{3/2}$$

dengan cara coba-coba memasukkan harga h₃

Jika h₃ = 1,70 Q = 0,71 x 1,70^{5/2} + 88,5 x 1,70^{3/2}
Q = 198,84 < 204

Jika h₃ = 1,73 Q = 0,71 x 1,73^{5/2} + 88,5 x 1,73^{3/2}
Q = 204,17 > 204

Untuk ini diambil h₃ = 1,75 m; dan tinggi jagaan menurut Tabel B.1 diambil 1,20 m



2. Lebar mercu peluap

$$b = n/f \cdot \gamma_w / \gamma_c \cdot (t + \Delta t / 2) \cdot (1 + 4 V^2 / 100)$$

$$V = Q / A = 204 / ((50+51,75) \times 1,75 \times 1/2) = 2,29 \text{ m/det}$$

$$b = (2 \sim 3) / 0.8 \cdot \gamma_w / \gamma_c \cdot (t + (0,1 \sim 1,5) / 2) \cdot (1 + 4 (Q/A)^2 / 100) \dots\dots\dots (18)$$

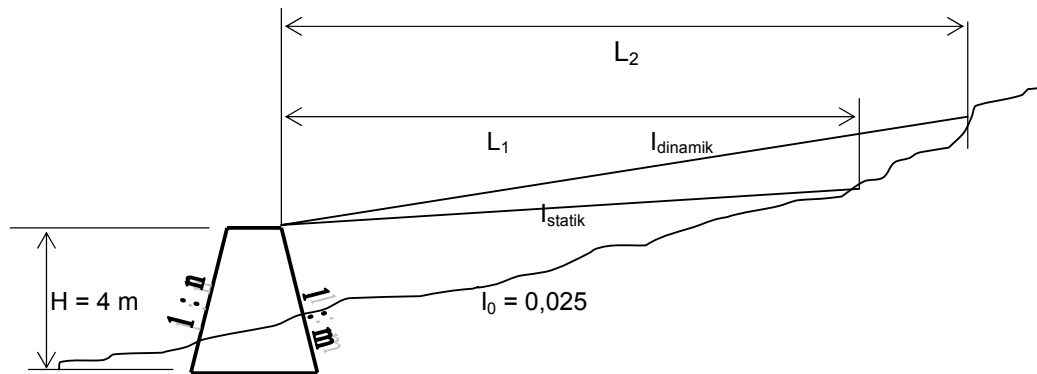
$$b = (2 \sim 3) / 0.8 \cdot 1,2 / 2,3 \cdot (1,75 + (0,1 \sim 1,5) / 2) \cdot (1 + 4 (2,29)^2 / 100)$$

$$b = 2,84 \sim 4,73 \text{ m}$$

Dengan menggunakan angka koefisien dalam menentukan lebar mercu peluap ternyata hasilnya sangat berbeda. Namun, dengan penggunaan angka koefisien yang kecil hasilnya hampir sama pada penentuan lebar mercu peluap dengan menggunakan tabel B.2. Dengan memperhatikan ketentuan yang tertulis dalam tabel dan membandingkan dengan kondisi yang sebenarnya di lapangan, maka lebar mercu peluap diambil $b=2,50 \text{ m}$.

3. Tinggi bendung pengendali dasar sungai

Disarankan tinggi bendung pengendali dasar sungai < 5 meter. Contoh tinggi bendung kita ambil $H = 4 \text{ meter}$



$I_0 = 0,025$ kemiringan asli dasar sungai sebelum dibangun bendung pengendali dasar sungai.

$I_{statik} = 1/2 \cdot I_0 = 0,0125$ kemiringan statik terjadi setelah dibangun bendung pengendali dasar sungai.

$I_{dinamik} = 2/3 I_0 = 0,0167$ kemiringan dinamik akan terbentuk setelah terjadi banjir.

$$L_1 = H / (I_0 - I_{statik}) = 4 / (0,025 - 0,0125) = 320 \text{ m.}$$

$$L_2 = H / (I_0 - I_{dinamik}) = 4 / (0,025 - 0,0167) = 481,91 \text{ m.}$$

4. Menentukan kemiringan bagian hilir bendung (n)

$$X - n \cdot H = 0$$

$$n \cdot H = X$$

$$n_{max} = X / H$$

$$\text{hukum new ton } X = V_g \cdot (2 \cdot H / g)^{1/2} = 2,29 \times (2 \times 4 / 9,8)^{1/2} = 2,07$$

$$n_{max} = V_g \cdot (2 \cdot H / g)^{1/2} / H = 2,07 / 4 = 0,50$$

dipakai $n = 0,20$ (supaya aliran tidak menyusur permukaan bendung bagian hilir/aman terhadap benturan batuan yang jatuh)

5. Menentukan kemiringan bagian hulu bendung (m)

$$(1 + \alpha) \cdot m^2 + \{ 2(n + \beta) + n \cdot (4\alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta \} \cdot m - (1 + 3 \cdot \alpha) + \alpha \cdot \beta \cdot (4n + \beta) + \gamma \cdot (3 \cdot n \cdot \beta + \beta^2 + n^2) = 0$$

$$\alpha = h_3/H = 1,75/4 = 0,44; \quad \beta = b_1/H = 2,50/4 = 0,63; \quad \gamma = \gamma_c / \gamma_w = 2,3/1,2 = 1,92$$

$$m = (-b \pm (b^2 - 4 \cdot a \cdot c)^{1/2}) / 2 \cdot a \dots\dots\dots (19)$$

$$a = (1 + \alpha) = 1 + 0,44 = 1,44$$

$$b = 2(n + \beta) + n \cdot (4\alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta = 2(0,2 + 0,63) + 0,2(4 \cdot 0,44 + 1,92) + 2 \cdot 0,44 \cdot 0,63$$

$$= 2,95$$

$$c = -(1 + 3 \cdot \alpha) + \alpha \cdot \beta \cdot (4n + \beta) + \gamma \cdot (3 \cdot n \cdot \beta + \beta^2 + n^2)$$

$$= -(1 + 3 \cdot 0,44) + 0,44 \cdot 0,63 \cdot (4 \cdot 0,2 + 0,63) + 1,92 \cdot (3 \cdot 0,2 \cdot 0,63 + 0,63^2 + 0,2^2)$$

$$= -0,359$$

$$m = (-2,95 + (2,95^2 - 4 \cdot 1,44 \cdot (-0,359))^{1/2}) / 2 \cdot 1,44$$

$$= 0,115$$

dipakai $m = 0,20$

6. Menentukan tebal lantai kolam olak

$$t = (0,1 \sim 0,2) (0,6 \cdot H_1 + 3 \cdot h_3 - 1)$$

koefisien (0,1 ~ 0,2) apabila lantai kolam olak tanpa subdam koefisien yang dipakai 0,2; dan kalau kolam olak memakai subdam koefisien yang dipakai 0,1. Dalam contoh penghitungan ini kolam olaknya memakai subdam, tebal lantai dihitung sebagai berikut :

$$t = 0,1 \cdot (0,6 \cdot H_1 + 3 \cdot h_3 - 1) \dots\dots\dots (14)$$

$$t = 0,1 \cdot (0,6 \times 4 - t) + 3 \times 1,75 - 1 = 0,1 \times (2,4 - 0,6t + 5,25 - 1) = 0,24 - 0,6t + 5,25 - 1$$

$$t = 0,63 \text{ m}$$

dipakai $t = 0,65 \text{ m}$

7. Menentukan jarak bendung utama dan subdam (panjang kolam olak)

$$\text{rumus empiris } L = (1,5 \text{ s/d } 2,0) \times (H_1 + h_3)$$

apabila tinggi bendung utama < 15 meter koefisien yang dipakai 2,0

$$L = 2,0 \times (3,35 + 1,75) = 10,2 \text{ meter}$$

Rumus percobaan hidraulik

$$L > l_w + X + b_2$$

$$Q_{\text{desain}} = 204 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$B_m = \text{lebar rata-rata peluap, } B_m = (50 + 51,75) \times \frac{1}{2} = 50,875 \text{ m}$$

$$h_3 = 1,75 \text{ m}$$

$$H_1 = (H - t) = (4 - 0,65) = 3,35 \text{ m}$$

$$\beta = 5$$

$$b_2 = 2,50 \text{ m}$$

$$q_0 = Q / B_m = 204 / 50,875 = 4 \text{ m}^3/\text{det/m'}$$

$$V_0 = q_0 / h_3 = 4 / 1,75 = 2,29 \text{ m/det}$$

$$V_1 = \{ 2 \cdot g \cdot (H_1 + h_3) \}^{1/2} = (2 \cdot 9,8 \cdot (3,35 + 1,75))^{1/2} = 10 \text{ m/det}$$

$$\text{Kita anggap } q_1 = q_0 = 4 \text{ m}^3/\text{det/m'}$$

$$\begin{aligned}
 h_1 &= q_1 / V_1 = 4 / 10 = 0,40 \text{ m} \\
 F_{r1} &= V_1 / (g \cdot h_1)^{1/2} = 10 / (9,8 \cdot 0,40)^{1/2} = 5,05 \\
 h_j &= h_1 / 2 \times \{ (1 + 8 F_{r1}^2)^{1/2} - 1 \} = 0,40 / 2 \times \{ (1 + 8 \cdot 5,05^2)^{1/2} - 1 \} = 2,66 \text{ m} \\
 l_w &= V_0 \{ 2 (H_1 + \frac{1}{2} h_3) / g \}^{1/2} = 2,29 \cdot \{ 2 (3,35 + \frac{1}{2} \cdot 1,75) / 9,8 \}^{1/2} = 2,13 \text{ m} \\
 X &= \beta \cdot h_j = 5 \cdot 2,66 = 13,2 \text{ m} \\
 L &= l_w + X + b_2 = 2,13 + 13,3 + 2,5 = 17,93 \text{ m} \\
 \text{Diambil } L &= 18 \text{ m}
 \end{aligned}$$

8. Menentukan tinggi subdam

Rumus percobaan hidraulik

$$\begin{aligned}
 d/h_1 &= [\{ (1 + 2 F_{r1}^2) \times (1 + 8 \cdot F_{r1}^2)^{1/2} - 5 \cdot F_{r1}^2 - 1 \} / \{ (1 + 4 F_{r1}^2) \\
 &\quad - (1 + 8 \cdot F_{r1}^2)^{1/2} \} - 3/2 \cdot F_{r1}^{2/3}] \\
 &= [\{ (1 + 2 \cdot 5,05^2) \times (1 + 8 \cdot 5,05^2)^{1/2} - 5 \cdot 5,05^2 - 1 \} / \{ (1 + 4 \cdot 5,05^2) \\
 &\quad - (1 + 8 \cdot 5,05^2)^{1/2} \} - 3/2 \cdot 5,05^{2/3}]
 \end{aligned}$$

$$d/h_1 = [\{ (52,005) \times (14,32) - 127,51 - 1 \} / \{ (103,01) - (14,32) \} - 4,42]$$

$$d/h_1 = [\{ (744,712 - 128,51) / (88,69) \} - 4,42]$$

$$d = 0,40 (6,947 - 4,42) = 1,01 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

Rumus empiris

$$d = (1/3 \text{ s/d } \frac{1}{4}) (H - t) = (1/3 \text{ s/d } \frac{1}{4}) (4 - 0,65) = 1,12 \text{ s/d } 0,84$$

diambil $d = 1 \text{ m}$

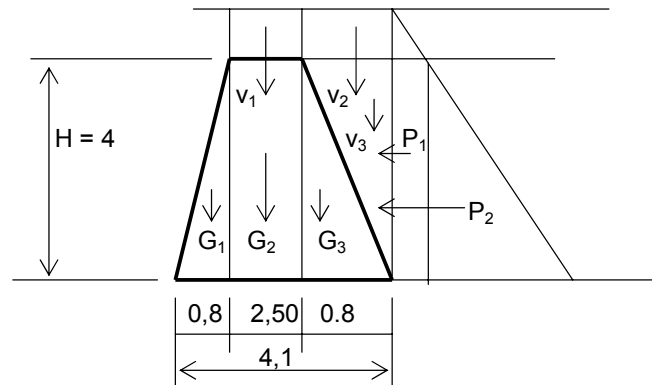
$$h_c = (q^2 / g)^{1/3} = (4^2 / 9,8)^{1/3} = 1,18 \text{ m (aliran kritis air di atas mercu subdam)}$$

$$h_j = 2,66 \text{ m (tinggi loncatan air dari lantai sampai di atas mercu subdam)}$$

$$d + h_c + v^2/2 \cdot g = h_j + v^2/2 \cdot g \longrightarrow d + 1,18 + (4/1,18)^2/2 \cdot 9,8 = 2,66 + (4/2,66)^2/2 \cdot 9,8$$

$$d + 1,18 + 0,586 = 2,66 + 0,12 \longrightarrow d = 2,66 + 0,12 - 1,18 - 0,586 = 1,014 = 1 \text{ m}$$

9. Menghitung stabilitas bendung



Kondisi bendung sebagai contoh penghitungan diketahui :

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

$$\gamma_w = 1,2 \text{ t/m}^3$$

$$m = 0,2 ; m \cdot H = 0,2 \cdot 4 = 0,8$$

$$n = 0,2 ; n \cdot H = 0,2 \cdot 4 = 0,8$$

$$D = 4,1$$

Berat sendiri

$$\begin{aligned} G_1 &= \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 2,3 = 3,68 \text{ t} \\ G_2 &= 4 \cdot 2,50 \cdot 2,3 = 23 \text{ t} \\ G_3 &= \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 2,3 = 3,68 \text{ t} \\ \text{Total} &= 30,36 \text{ t} \end{aligned}$$

Tekanan air statik vertikal

$$\begin{aligned} V_1 &= 1,75 \cdot 2,50 \cdot 1,2 = 5,25 \text{ t} \\ V_2 &= 1,75 \cdot 0,80 \cdot 1,2 = 1,68 \text{ t} \\ V_3 &= \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 1,2 = 1,92 \text{ t} \\ \text{Total} &= 8,85 \text{ t} \end{aligned}$$

Tekanan air statik horizontal

$$\begin{aligned} P_1 &= 4 \cdot 1,2 \cdot 1,75 = 8,4 \text{ t} \\ P_2 &= \frac{1}{2} \cdot 4^2 \cdot 1,2 = 9,6 \text{ t} \\ \text{Total} &= 18,0 \text{ t} \end{aligned}$$

Lengan (jarak gaya-gaya yang bekerja terhadap ujung tumit bendung di sebelah hilir)

$$\begin{aligned} G_1 &= \frac{2}{3} \cdot 0,8 = 0,53 \text{ m} \\ G_2 &= 0,8 + \frac{1}{2} \cdot 2,50 = 2,05 \text{ m} \\ G_3 &= \frac{1}{3} \cdot 0,8 + 2,50 + 0,8 = 3,567 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_1 &= 0,8 + \frac{1}{2} \cdot 2,50 = 2,05 \text{ m} \\ V_2 &= 0,8 + 2,50 + \frac{1}{2} \cdot 0,8 = 3,7 \text{ m} \\ V_3 &= 0,8 + 2,50 + \frac{2}{3} \cdot 0,8 = 3,83 \text{ m} \\ P_1 &= \frac{1}{2} \cdot 4 = 2 \text{ m} \\ P_2 &= \frac{1}{3} \cdot 4 = 1,33 \text{ m} \end{aligned}$$

Penghitungan momen

Beban	Simbol	Gaya (t)	Lengan (m)	Momen (t.m)
Berat sendiri	G ₁	3,68	0,53	1,95
	G ₂	23	2,05	47,15
	G ₃	3,68	3,567	13,13
Tekanan air statik vertikal	V ₁	5,25	2,05	10,76
	V ₂	1,68	3,70	6,22
	V ₃	1,92	3,83	7,35
Total P _V dan M _V		39,21		86,56
Tekanan air statik horizontal	H ₁	8,4	2	16,8
	H ₂	9,6	1,33	12,77
Total P _H dan M _H		18		29,57

Stabilitas terhadap guling

$$X = M / P_V = (M_V - M_H) / P_V = (86,56 - 29,57) / 39,21 = 56,99 / 39,21 = 1,45 \text{ m}$$

$$D/3 = 4,1 / 3 = 1,37 \text{ m}$$

$$2/3 \cdot D = \frac{2}{3} \cdot 4,1 = 2,73 \text{ m}$$

$$D/3 < X < 2/3 \cdot D \longrightarrow \text{aman}$$

$$e = D/2 - X = 4,1 / 2 - 1,45 = 0,60$$

$$S_F = M_V / M_H = 86,56 / 29,57 = 2,9 > 1,2 \longrightarrow \text{aman}$$

Stabilitas terhadap geser

$$S_F = (f \cdot P_V + \sigma_0 \cdot l) / P_H$$

F = 0,6 karena macam material pada lokasi bendung terdiri atas kerikil dan pasir (lihat Tabe B.5)

$\sigma_0 = 0$ karena alasan seperti di atas

$$S_F = (0,6 \cdot 39,21 + 0 \cdot 1) / 18 = 1,3 > 1,2 \longrightarrow \text{aman}$$

Stabilitas terhadap daya dukung tanah fondasi

$$\sigma_1 = (P_V / D) \cdot (1 + 6 \cdot e / D)$$

$$\sigma_2 = (P_V / D) \cdot (1 - 6 \cdot e / D)$$

daya dukung tanah yang diizinkan menurut Tabel B.5 lapisan tanah di lokasi bendung terdiri dari kerikil dan pasir, rata-rata daya dukungnya $(60 + 30) / 2 = 45 \text{ t/m}^2$

$$\sigma_1 = (39,21 / 4,1) \cdot (1 + 6 \cdot 0,6 / 4,1) = 17,97 \text{ t/m}^2 < 45 \text{ t/m}^2 \longrightarrow \text{aman}$$

$$\sigma_2 = (39,21 / 4,1) \cdot (1 - 6 \cdot 0,6 / 4,1) = 9,56 \text{ t/m}^2 < 45 \text{ t/m}^2 \longrightarrow \text{aman}$$

10. Menghitung stabilitas tembok tepi

Kondisi data yang telah diketahui sebagai berikut.

$$H = 4 \text{ m}$$

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

$$\phi = 30^\circ \text{ (pasir)}$$

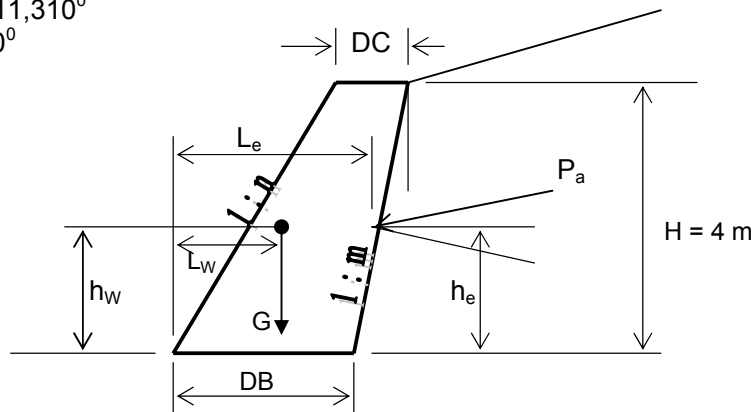
$$\delta = 2/3 \phi = 20^\circ$$

$$DC = 0,30 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 1,80 \text{ t/m}^3$$

$$\theta = -11,310^\circ$$

$$\alpha = 20^\circ$$



$$n = 0,5$$

$$m = 0,2$$

$$DB = DC + n \cdot H - m \cdot H = 0,30 + 0,5 \cdot 4 - 0,2 \cdot 4 = 1,5 \text{ m}$$

$$G = H/2 \cdot (DC + DB) \cdot \gamma_c = 4/2 \cdot (0,3 + 1,5) \cdot 2,3 = 8,28 \text{ ton}$$

$$L_w = \left\{ \frac{DB^2 + DB \cdot DC + DC^2}{3 \cdot (DB + DC)} \right\} + \left(\frac{n \cdot H}{3} \right) \cdot \left\{ \frac{DB + 2 \cdot DC}{DB + DC} \right\}$$

$$L_w = \left\{ \frac{1,5^2 + 1,5 \cdot 0,3 + 0,3^2}{3 \cdot (1,5 + 0,3)} \right\} + \left(\frac{0,5 \cdot 4}{3} \right) \cdot \left\{ \frac{1,5 + 2 \cdot 0,3}{1,5 + 0,3} \right\}$$

$$= 0,516 + 0,778 = 1,294 \text{ m}$$

$$h_w = H/3 \left\{ \frac{DB + 2 \cdot DC}{DB + DC} \right\} = 4/3 \left\{ \frac{1,5 + 2 \cdot 0,3}{1,5 + 0,3} \right\} = 1,33 \times 1,167$$

$$= 1,55 \text{ m}$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos^2 \theta \cdot \cos(\theta + \delta) \cdot \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \cdot \cos(\theta - \alpha)}} \right\}^2}$$

$$K_a = \frac{\cos^2(30 - (-11,310))}{\cos^2(-11,31) \cdot \cos(-11,31 + 20) \cdot \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(30 + 20) \cdot \sin(30 - 20)}{\cos(-11,31 + 20) \cdot \cos(-11,31 - 20)}} \right\}^2}$$

$$K_a = 0,56 / 0,96 \times 0,99 \times 1,94 = 0,56 / 1,84 = 0,304$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma_s \cdot H^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,304 \cdot 1,8 \cdot 4^2 = 4,38$$

$$L_e = DB + \frac{1}{3} \cdot H \cdot m = 1,5 + \frac{1}{3} \cdot 4 \cdot 0,2 = 1,77 \text{ m}$$

$$h_e = H/3 = 4/3 = 1,33 \text{ m}$$

$$P_a \cdot H = P_a \cdot \sin(90^\circ - \delta - 0) = 4,38 \cdot \sin(90^\circ - 20^\circ - 0) = 4,12$$

$$P_a \cdot V = P_a \cdot \cos(90^\circ - \delta - 0) = 4,38 \cdot \cos(90^\circ - 20^\circ - 0) = 1,5$$

Penghitungan momen

Beban	Simbol	Gaya (t)	Lengan (m)	Momen (t . m)
Berat sendiri	G	8,28	$L_W = 1,294$	10,714
Tekanan tanah arah vertikal	$P_a V$	1,50	$L_e = 1,77$	2,655
Total P_V dan M_V		9,78		13,369
Tekanan tanah arah horizontal	$P_a H$	4,12	$h_e = 1,33$	5,5

Stabil terhadap guling

$$X = M/P_V = (13,369 - 5,5) / 9,78 = 0,8 \text{ m}$$

$$\frac{1}{3} \cdot DB = \frac{1}{3} \cdot 1,5 = 0,5 \text{ m}$$

$$\frac{2}{3} \cdot DB = \frac{2}{3} \cdot 1,5 = 1 \text{ m}$$

$$\frac{1}{3} \cdot DB = 0,5 < X = 0,8 < \frac{2}{3} \cdot DB = 1$$

$$e = DB/2 - X = 1,5/2 - 0,8 = -0,05$$

$$S_F = M_V / M_H = 13,369 / 5,5 = 2,43 > 1,2 \longrightarrow \text{aman}$$

Stabilitas terhadap geser

$$S_F = (f \cdot P_V + \sigma_0 \cdot L) / P_H = (0,6 \cdot 9,78 + 0) / 4,12 = 1,42 > 1,2 \longrightarrow \text{aman}$$

Stabilitas terhadap daya dukung tanah fondasi

$$\sigma_1 = (P_V / DB) \cdot (1 + 6 \cdot e / DB)$$

$$= (9,78 / 1,5) \cdot (1 + 6 \cdot (-0,05) / 1,5) = 5,216 \text{ t/m}^2 < 45 \text{ t/m}^2 \longrightarrow \text{aman}$$

$$\sigma_2 = (P_V / DB) \cdot (1 - 6 \cdot e / DB)$$

$$= (9,78 / 1,5) \cdot (1 - 6 \cdot (-0,05) / 1,5) = 7,824 \text{ t/m}^2 < 45 \text{ t/m}^2 \longrightarrow \text{aman}$$

Lampiran D**Daftar nama dan lembaga**

1) Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

2) Penyusun

N a m a	L e m b a g a
Ir. Sadwandharu, Sp.	Pusat Litbang Sumber Daya Air
Djudi, S.ST.	Pusat Litbang Sumber Daya Air

Bibliografi

1. Henderson, F.M., *Open Channel Flow*, 1966. professor of civil engineering of canterbury chistchurch, New Zealand.
2. Bowles, E., Joseph, *Foundation Analysis Design*, Fourth edition.
3. Craig, R.F., Susilo, Budi., *Mekanika tanah*, 1991.
4. Sosrodarsono, Suyono., Dr. Ir ; Tominaga, Mastaru., Dr.; Gayo, Yusuf., M., Ir dkk. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*, 1985.
5. Hirozumi, T., *Glossary of Terminologyn on Sabo Engineering*, 1985.
6. B.S. Untung, Ir; Luthana, Irfan, Ir; Sadwandharu, Ir; Artha, I.G.M., Ir; Nurdin, H.M., Ir. *Report of Second Comprehensive Course*, 1988.
7. VSTC, JICA, *Perencanaan Bangunan Pengendali Sedimen*, 1985.
9. VSTC, JICA, *Survei untuk pekerjaan Sabo*, 1985.
10. Chow, Ven Te, Ph. D., Rosalina Nensi, E.V., *Open Channel Hydraulics*, 1989.