

PEDOMAN

Konstruksi dan Bangunan

Perencanaan bendung karet isi udara

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



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Prakata

Pedoman perencanaan bendung karet isi udara ini termasuk dalam Gugus Kerja Irigasi, Sabo, Rawa dan Pantai, Danau dan Sungai pada Sub Panitia Teknik Sumber Daya Air yang berada di bawah Panitia Teknik 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 disusun berdasarkan hasil penelitian, hasil pengamatan penerapan di lapangan, dan brosur dari produsen karet untuk bendung. Dukungan teori dan praktik lapangan pada teknologi bendung karet di Indonesia masih relatif terbatas. Namun demikian, pedoman ini perlu segera dibuat sebagai acuan dalam pembangunan bendung karet di Indonesia agar dapat dihindari penerapan bendung karet yang tidak sesuai dengan tujuan dan kondisi lapangan.

Daftar isi

Prakata	i
Daftar isi	ii
Pendahuluan	iv
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Kriteria perencanaan	2
4.1 Dasar penerapan	2
4.2 Persyaratan	3
4.3 Dasar perencanaan	3
5 Perencanaan tata letak	3
5.1 Komponen bangunan	3
5.2 Tata letak	4
6 Perencanaan hidraulik	4
6.1 Elevasi mercu bendung	4
6.2 Pembendungan	5
6.3 Penampungan dan pelepasan	5
6.4 Peredaman energi	5
6.5 Sirip (<i>fin</i>)	6
7 Perencanaan tubuh bendung	6
7.1 Bahan karet	6
7.2 Kekuatan	6
7.3 Sistem penjepitan	8
7.4 Kebutuhan luasan karet	8
7.5 Tekanan udara dalam tabung karet	10
8 Perencanaan stabilitas	10
8.1 Jenis fondasi	10
8.2 Stabilitas terhadap erosi dasar (<i>piping</i>)	10
8.3 Stabilitas fondasi	10
9 Perencanaan instalasi	13
9.1 Lubang angin	13
9.2 Pompa dan saluran udara	13
9.3 Sistem otomatisasi	14

Lampiran A Tata letak dan komponen bendung karet (informatif)	15
Gambar A.1 Denah bendung karet	15
Gambar A.2 Potongan melintang	15
Gambar A.3 Contoh detail dimensi tubuh bendung karet	16
Gambar A.4 Sistem penjepitan bendung karet	17
Gambar A.5 Skema instalasi operasi dengan otomatisasi tipe ember	18
Gambar A.6 Skema instalasi operasi dengan otomatisasi tipe pelampung	19
Lampiran B Panelisasi bentang bendung (informatif)	20
Lampiran C Rumus penghitungan debit limpasan	22
Lampiran D Bagan alir perencanaan stabilitas fondasi	24
Lampiran E Daftar koefisien Lane (C_L)	25
Lampiran F Daftar nama dan lembaga	26
Bibliografi	27

Pendahuluan

Bendung karet merupakan hasil pengembangan jenis bendung tetap menjadi bendung gerak dengan membuat tubuh bendung dari tabung karet yang dikembangkan. Pembukaan bendung bisa dilakukan secara otomatis dengan pengempisan tabung karet tersebut, sedangkan pengembangannya hanya bisa dilakukan secara manual. Dibandingkan dengan bendung tetap, bendung karet memiliki kelebihan di samping kekurangan yang ada, begitu pula apabila dibandingkan dengan bendung gerak pintu.

Berdasarkan media pengisi tabung karet, ada 2 jenis bendung karet yaitu bendung karet isi udara dan isi air.

Bendung karet pertama kali dibangun tahun 1957 di Amerika Serikat dengan menggunakan bahan tekstil untuk membentuk tubuh bendung. Pada tahun 1978 bahan tersebut dikembangkan menjadi serabut nilon yang dibungkus dengan karet sintesis. Pembangunan bendung karet di Indonesia dimulai tahun 1990. Pada penerapannya di lapangan banyak dijumpai berbagai masalah yang berakibat rendahnya kinerja bendung. Masalah tersebut diakibatkan oleh kurangnya dukungan teori dan pengalaman. Selain itu, belum ada pedoman yang bisa dipakai sebagai acuan untuk perencanaan bendung karet. Oleh karena itu, disusun pedoman perencanaan bendung karet.

Pedoman ini memuat garis besar tentang dasar pertimbangan untuk membangun bendung karet, persyaratan lokasinya, struktur bendung karet, dan perencanaan teknis.

Perencanaan bendung karet isi udara

1 Ruang lingkup

Pedoman perencanaan bendung karet isi udara ini mencakup kriteria perencanaan, perencanaan tata letak, perencanaan hidraulik, perencanaan stabilitas, dan perencanaan instalasi yang dikaitkan dengan kemudahan dalam operasi dan pemeliharaan.

Pedoman ini berlaku untuk bendung karet isi udara dengan pengempisan secara otomatis, yang berfungsi untuk melayani bangunan pengambilan air dan/atau menahan intrusi air laut di alur sungai

2 Acuan normatif

- SNI 03-2415-1991 : Metode perhitungan debit banjir.
- SNI 03-1724-1989 : Pedoman perencanaan hidrologi dan hidraulika untuk bangunan di sungai.
- SNI 03-2401-1991 : Tata cara perencanaan bendung.

3 Istilah dan definisi

3.1 Bendung adalah bangunan melintang alur sungai yang berfungsi untuk meninggikan muka air sungai.

3.2 Bendung tetap adalah bendung yang tidak bisa dioperasikan untuk meniadakan pembendungan air.

3.3 Bendung gerak adalah bendung yang bisa melayani operasi untuk meniadakan pembendungan air.

3.4 Bendung gerak pintu adalah bendung gerak yang terbuat dari pintu sebagai sarana operasi pembendungan air.

3.5 Bendung karet adalah bendung gerak yang terbuat dari tabung karet yang mengembang sebagai sarana operasi pembendungan air.

3.6 Bendung karet isi udara adalah bendung karet yang menggunakan udara sebagai media pengisi tabung karet.

3.7 Bendung karet isi air adalah bendung karet yang menggunakan media air sebagai media pengisi tabung karet.

3.8 Pengembangan adalah proses pengisian udara ke dalam tabung karet hingga tabung karet mengembang menjadi bendung yang kaku.

3.9 Waktu pengembangan adalah jangka waktu yang diperlukan untuk pengembangan.

3.10 Pengempisan adalah proses pengosongan udara dalam tabung karet hingga tabung karet terlipat dan tidak memberikan efek pembendungan.

3.11 Pengempisan otomatis adalah pengempisan pada saat mulainya pengaturan secara otomatis berdasarkan ketinggian muka air hulu.

3.12 Muka air pengempisan adalah taraf muka air yang ditetapkan sebagai kontrol dimulainya proses pengempisan bendung.

3.13 Waktu pengempisan adalah jangka waktu yang diperlukan untuk pengempisan tabung karet.

3.14 Bentang bendung adalah panjang total bagian pelimpah tubuh bendung.

3.15 Bentang panel adalah panjang masing-masing panel tubuh bendung.

3.16 Mercu bendung adalah bagian puncak tabung karet yang mengembang dan melintang alur sungai.

3.17 V-notch adalah bentuk mercu bendung karet yang terlipat ke bawah menyerupai bentuk huruf V sebagai akibat tekanan air pada tubuh bendung yang tidak kaku yang terjadi ketika mengembang tidak sempurna.

3.18 Sirip (*fin*) adalah tonjolan lembaran karet yang ditambahkan pada tubuh bendung di hilir mercu yang berfungsi untuk mencegah aliran limpasan menempel menuruni bagian hilir tubuh bendung.

3.19 Fondasi adalah bagian struktur bendung yang berfungsi untuk meletakkan tabung karet dengan stabil sesuai dengan fungsinya sebagai bendung.

3.20 Lantai hulu adalah bangunan kedap air yang diletakkan pada dasar alur sungai di hulu bendung sebagai sarana untuk memperpanjang lintasan rembesan air di dasar bendung.

3.21 Lantai hilir adalah bangunan kedap air sebagai pelindung dasar alur sungai di hilir bendung terhadap gerusan akibat terjunan air dari tubuh bendung.

4 Kriteria perencanaan

4.1 Dasar penerapan

Pemilihan bendung karet harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut.

- 1) Alternatif penerapan bendung jenis lain yang lebih murah tanpa mengabaikan efektifitasnya bagi tujuan dibangunnya bendung;
- 2) Bendung karet hanya diterapkan pada kondisi yang apabila digunakan bendung tetap akan menimbulkan peningkatan ancaman banjir yang sulit diatasi;
- 3) Alternatif bendung karet dipilih apabila bendung gerak jenis lain tidak bisa menjamin kepastian pembukaan bendung pada saat banjir datang, mengingat daerah yang harus diamankan terhadap ancaman banjir merupakan kawasan penting.

4.2 Persyaratan

Pembangunan bendung karet hendaknya memenuhi persyaratan sebagai berikut.

- 1) Kondisi alur sungai;
 - a) memiliki aliran subkritik;
 - b) tidak terjadi sedimentasi yang sedemikian berat sehingga mengganggu mekanisme kembang-kempisnya tabung karet;
 - c) tidak mengangkut sedimen kasar;
 - d) aliran sungai tidak mengangkut sampah yang besar dan keras;
 - e) air sungai tidak mengandung limbah kimia yang bisa bereaksi dengan karet.
- 2) Bahan
 - a) tabung karet terbuat dari bahan yang elastis, kuat, kedap udara, tidak mudah terabrasi, dan tahan lama;
 - b) perencanaan bahan karet baik jenis, kekuatan maupun dimensi hendaknya disesuaikan dengan kemampuan produsen untuk menyediakannya;
- 3) Operasi dan pemeliharaan
 - a) radiasi sinar ultraviolet terhadap karet tubuh bendung harus dikurangi semaksimal mungkin;
 - b) bendung karet harus diamankan dari gangguan manusia yang tidak bertanggung jawab.

4.3 Dasar perencanaan

Perencanaan bendung karet didasarkan pada ketentuan-ketentuan berikut.

- 1) Secara hidraulik bendung karet harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
 - a) mampu melayani taraf muka air yang direncanakan;
 - b) dapat membuka secara otomatis jika terjadi banjir yang melampaui batas tertentu;
 - c) pada bendung yang berfungsi untuk menahan intrusi air asin, air asin yang terperangkap di hulu bendung harus bisa didorong ke hilir;
 - d) aman terhadap gerusan dasar sungai akibat energi terjunan air;
 - e) aman terhadap gangguan akibat arus air dan benda padat yang terangkut;
 - f) tinggi bendung karet umumnya tidak melebihi 5,00 m, dengan pertimbangan bahwa konstruksi bendung karet dengan tinggi >5,00 m tidak efisien lagi.
- 2) Secara struktural bendung karet harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:
 - a) kuat dan stabil terhadap penggulingan penggeseran dan batas daya dukung tanah serta erosi dasar fondasi;
 - b) tata letak bendung direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat memberikan fasilitas bagi pekerjaan perbaikan tubuh bendung dengan mudah dan murah.

5 Perencanaan tata letak

5.1 Komponen bangunan

Bangunan bendung karet terdiri dari komponen sebagai berikut (lihat Gambar A.1 sampai dengan A.6 pada Lampiran A).

- 1) Tubuh bendung, yang berupa tabung karet yang dikembangkan, sebagai bangunan utama yang berfungsi untuk membendung air.
- 2) Bangunan dasar, yang berupa fondasi untuk perletakan tubuh bendung yang dirangkaikan dengan lantai hilir sebagai dasar kolam peredam energi dan lantai hulu yang direncanakan untuk pengamanan terhadap erosi dasar fondasi.
- 3) Pilar dan tembok tepi, yang berfungsi sebagai batas tepi panel bendung dan penahan tanah tebing sungai.
- 4) Saluran dan pintu pembilas, yang berfungsi untuk pembilas sedimen di sekitar mulut bangunan pengambilan dan untuk fasilitas *dewatering* pada pekerjaan perbaikan tubuh bendung.
- 5) Instalasi pemompaan udara, yang terdiri dari generator atau jaringan suplai listrik, pompa *blower*, pipa penghubung, dan instalasi pipa dalam tubuh bendung serta peralatan kontrol tekanan tubuh bendung
- 6) Sistem otomatisasi pengempisan bendung, yang berupa sensor muka air dan alat pembuka tutup lubang pengeluaran udara.
- 7) Rumah operasi, yang berfungsi sebagai tempat peralatan pemompaan udara dan otomatisasi pengempisan bendung serta ruangan bagi operator.
- 8) Jembatan penyeberangan, yang berfungsi untuk jalan penyeberangan orang/kendaraan antarkedua sisi sungai sekaligus untuk menghindari orang melintas pada tubuh bendung dan untuk melindungi tubuh bendung dari sengatan sinar matahari.
- 9) Pagar pengaman, yang menutup jalan masuk ke tubuh bendung.

5.2 Tata letak

Panjang bentang bendung diusahakan sama dengan lebar normal alur sungai. Panjang panel bendung dibatasi oleh kemampuan produsen dan kemudahan pengangkutan bahan ke lokasi.

Panjang panel bendung bisa juga ditentukan oleh sistem panelisasi yang ditujukan untuk pengaturan muka air hulu, seperti diuraikan pada Lampiran B.

Panjang lantai hulu harus dapat menyediakan landasan bagi penggelaran lembaran karet bendung.

Dasar tubuh bendung dan lantai hulu dibuat sedemikian tinggi sehingga permukaannya dapat dikeringkan dengan cara membuka pintu pembilas. Jika hal ini terkendala oleh timbulnya peningkatan ancaman banjir, permukaan dasar bendung dan lantai hulu tetap dibuat rendah dengan pilar saluran pembilas diperpanjang hingga ujung lantai hulu. Di ujung lantai hulu dan ujung hilir fondasi disediakan perletakan untuk pemasangan *cofferdam* sederhana.

6 Perencanaan hidraulik

6.1 Elevasi mercu bendung

Mercu bendung diletakkan pada elevasi yang diperlukan untuk pelayanan muka air pengambilan, atau didasarkan pada perhitungan bagi penyediaan volume tampungan air di hulu bendung.

6.2 Pembendungan

Pada bendung karet tinggi pembendungan harus dibatasi untuk menghindari terjadinya:

- 1) ancaman banjir di daerah hulu,
- 2) peningkatan energi terjunan yang berlebihan,
- 3) vibrasi yang akan merusak tabung karet.

Tinggi pembendungan maksimum ditetapkan tidak melebihi 0,3 H, dengan H adalah tinggi bendung. Pembendungan maksimum ini menentukan elevasi muka air pengempisan yang merupakan batas muka air tertinggi karena bendung karet harus sudah dikempiskan.

Untuk mengurangi besarnya vibrasi, pada tubuh bendung bisa diberi sirip yang letaknya di sebelah hilir mercu, atau jika pada kondisi mengempis, sirip berada pada ujung hilir lipatan

6.3 Penampungan dan pelepasan

Ketika bendung karet mengembang, di hulu bendung akan terjadi penampungan air. Pada alur sungai yang relatif lebar dan landai, volume tampungan cukup berarti sebagai penyediaan air tawar di daerah pantai. Pada bendung dengan volume tampungan yang besar sedangkan debit aliran relatif kecil, pengisian tampungan untuk mencapai muka air normal memerlukan waktu yang lama. Untuk menghindari pelepasan volume tampungan pada operasi pengempisan, bisa digunakan sistem panelisasi bendung seperti diuraikan pada Lampiran B.

6.4 Peredaman energi

6.4.1 Energi terjunan

Energi terjunan diperhitungkan untuk kemungkinan yang paling membahayakan yaitu pada kondisi dengan asumsi sebagai berikut.

- 1) muka air hulu setinggi muka air pengempisan;
- 2) terjadi v-notch hingga mencapai dasar tubuh bendung;

Perhitungan debit limpasan pada muka air pengempisan (q_w) dan debit spesifik pada v-notch (q_v) diuraikan pada Lampiran C.

Energi terjunan dihitung dengan rumus :

$$E_T = \rho_w g q_v H_E \dots\dots\dots (1)$$

$$H_E = H + h_1 - H_i \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

E_T adalah energi terjunan spesifik (N/s)

ρ_w adalah massa jenis air, diambil 1000 kg/m³

g adalah gravitasi bumi, diambil 9,81 m/s²

q_v adalah debit per satuan lebar (m²/s)

H_E adalah tinggi terjunan (m)

H adalah tinggi bendung (m)

h_1 adalah tinggi pembendungan maksimum (m)

H_i adalah kedalaman air hilir yang dihitung berdasarkan aliran q_w pada alur sungai (m)

6.4.2 Kolam peredam energi

Kolam peredam energi direncanakan dengan energi terjunan E_T , seperti diuraikan pada butir 6.4.1. Jenis dan dimensi kolam peredam energi direncanakan dengan metode yang berlaku, dengan prinsip:

- 1) elevasi lantai ditentukan agar loncat air terjadi tepat pada ujung terjunan, blok pemecah arus bisa ditambahkan jika diperlukan.
- 2) panjang lantai ditentukan hingga ujung hilir loncat air

Penghitungan muka air hilir harus mempertimbangkan kemungkinan terjadinya degradasi dasar sungai. Struktur hidraulik kolam harus mempertimbangkan terjadinya pusaran air sebagai akibat aliran tidak merata karena timbulnya V-notch.

6.5 Sirip (*fin*)

Sirip yang diletakkan di sebelah hilir/bawah mercu bendung sepanjang tabung karet berfungsi untuk menahan agar limpasan air dari atas mercu bendung tidak menempel menuruni sisi hilir tabung karet, dengan pertimbangan bahwa aliran air yang menempel tersebut tidak stabil dan akan menyebabkan terjadinya vibrasi ataupun osilasi.

Prinsip penentuan lebar dan letak sirip adalah sebagai berikut :

- 1) menghindari menempelnya aliran limpasan di hilir bendung pada posisi setinggi mungkin;
- 2) tidak mempengaruhi aliran limpasan sempurna di atas mercu bendung

7 Perencanaan tubuh bendung

7.1 Bahan karet

Lembaran karet terbuat dari bahan karet asli atau sintetis yang elastik, kuat, keras, dan tahan lama. Pada umumnya bahan karet yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- 1) Kekerasan

tes abrasi menggunakan metode H18 dengan beban 1 kg pada putaran 1000 kali tidak melampaui $0,8 \text{ m}^3/\text{mil}$

- 2) Kuat tarik

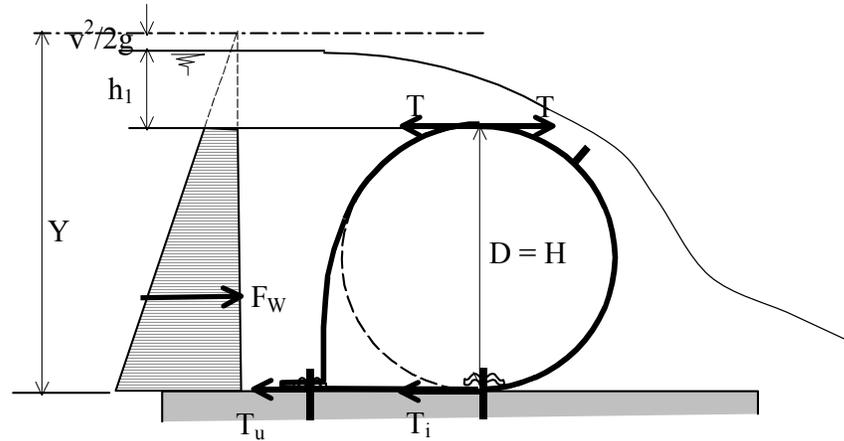
kuat tarik pada suhu normal $\geq 150 \text{ kg/cm}^2$

kuat tarik pada suhu 100° $\geq 120 \text{ kg/cm}^2$

Bahan karet diperkuat dengan susunan benang nilon yang memberikan kekuatan tarik sesuai dengan yang dibutuhkan untuk menahan gaya seperti diuraikan pada butir 7.2. Bahan dasar karet umumnya digunakan karet sintetis seperti *ethylene propylene diene monomer* (EPDM), *chloroprene rubber* (CR), dan lain-lain. Untuk mengurangi goresan oleh benda tajam/keras, permukaan luar karet bisa dilapisi dengan bahan keramik.

7.2 Kekuatan

Kekuatan lembaran karet harus mampu menahan gaya tekanan air dikombinasikan dengan gaya tekanan udara dari dalam tubuh bendung. Gaya tersebut dapat dihitung dengan pendekatan sebagai berikut (lihat Gambar 2)



Gambar 2 Sketsa gaya tarik pada tabung karet

$$T = 0,5 H p_b \dots\dots\dots (3)$$

$$F_w = 0,5 \gamma_w [Y^2 - (h_1 + v^2/2g)^2] \dots\dots\dots (4)$$

$$T_i = T + 0,5 F_w \dots\dots\dots (5)$$

$$T_u = T - 0,5 F_w \dots\dots\dots (6)$$

dengan:

T adalah gaya tarik pada selubung tabung karet (N/m)

H adalah tinggi bendung (m)

p_b adalah tekanan udara dalam tabung karet (Pa)

F_w adalah gaya tekanan air dari hulu pada tubuh bendung (N/m)

γ_w adalah berat jenis air, diambil 9810 N/m^3

Y adalah kedalaman air hulu bendung (m)

h_1 adalah tinggi pembendungan maksimum (m)

v adalah kecepatan rata-rata aliran air di hulu bendung (m/s)

g adalah gravitasi, diambil $9,81 \text{ m/s}^2$

T_i adalah gaya pada angker hilir (N/m)

T_u adalah gaya pada angker hulu (N/m)

Kekuatan tarik lembaran karet pada arah aliran air ditetapkan dengan rumus :

$$K_T = n T_i \dots\dots\dots (7)$$

dengan:

K_T adalah kekuatan tarik karet searah aliran air (N/m)

n adalah angka keamanan, diambil 8

Kekuatan tarik searah as bendung ditentukan sebesar 60% K_T .

Tebal lembaran karet ditentukan oleh tebal susunan benang nilon ditambah lapisan penutup di kedua sisinya untuk menjamin kedap udara. Lapisan penutup sisi luar dibuat lebih tebal untuk pengamanan terhadap goresan ataupun abrasi oleh benda keras. Biasanya tebal lapisan penutup diambil sekitar 3 mm di permukaan dalam dan 7 mm di permukaan luar.

7.3 Sistem penjepitan

Perletakkan tabung karet pada fondasi berupa penjepitan yang menggunakan baja yang diangker. Untuk bendung rendah dengan $H \leq 1,00$ m bisa digunakan angker tunggal, sedangkan untuk $H > 1,00$ m biasanya digunakan angker ganda. Bendung yang dipengaruhi pasang surut air laut selalu menggunakan angker ganda. Sketsa sistem penjepitan bisa dilihat pada Gambar Lampiran A.

7.4 Kebutuhan luasan karet

Untuk membentuk tabung karet dengan tinggi H yang direncanakan, diperlukan lembaran karet dengan lebar tertentu (W) seperti ditunjukkan pada Tabel-1. Lebar total lembaran karet adalah W ditambah dua kali lebar untuk penjepitan.

Penjepitan pada ujung tabung karet yang menaiki tembok tepi atau pilar dibuat hingga ketinggian $H + 10\% H$.

Bentuk dan panjang lembaran karet ditentukan dengan perhitungan berikut (lihat Gambar 3)

$$L = L_0 + 2 L_s + 2 a' \dots\dots\dots (8)$$

$$W = 2 B_0 + 2 a \dots\dots\dots (9)$$

$$L_s = 1,10 H \sqrt{1+m^2} \dots\dots\dots (10)$$

$$a' = \frac{2a}{B_0} \sqrt{(B_0/2)^2 + L_s^2} \dots\dots\dots (11)$$

dengan

L adalah panjang total lembaran karet (m)

W adalah lebar lembaran karet (m)

a adalah lebar untuk penjepitan (m)

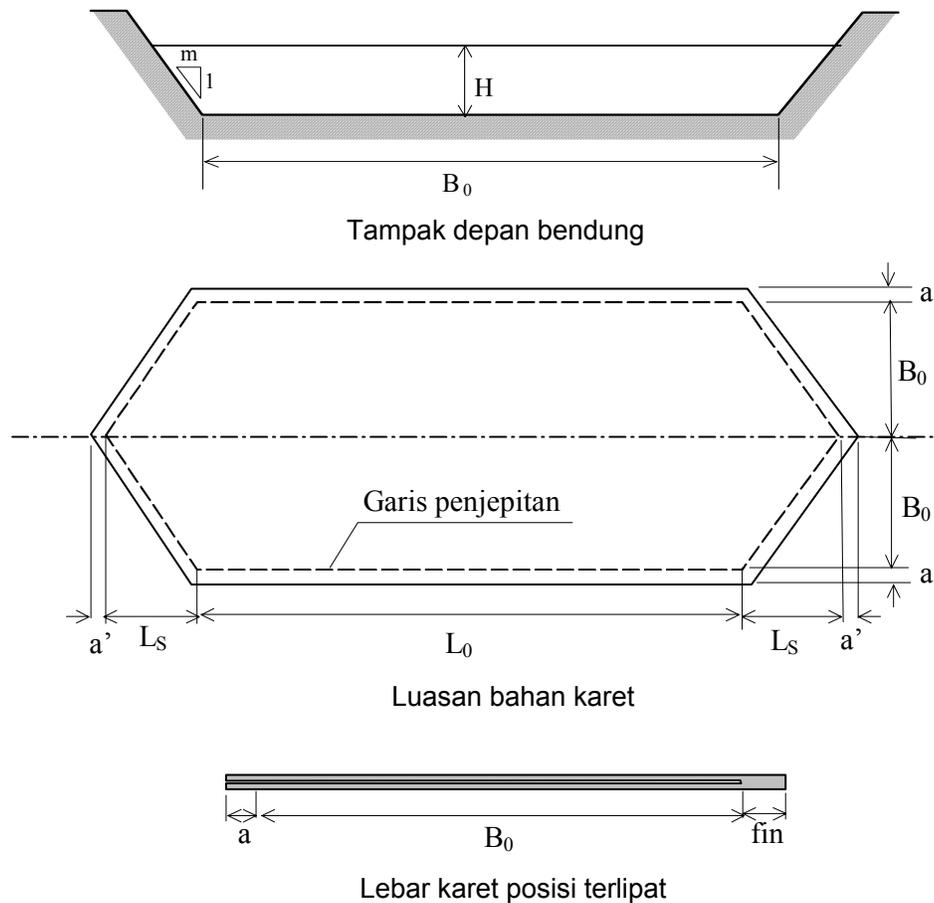
L_0 adalah lebar dasar panel bendung (m)

L_s adalah panjang tambahan bahan karet untuk tekukan samping bendung (m)

m adalah faktor horizontal kemiringan tembok tepi atau pilar

B_0 adalah setengan keliling tabung karet (m)

Lebar lembaran karet dan lebar sirip bisa dilihat pada Tabel 1 berikut.



Keterangan :

- L_0 : lebar dasar badan tubuh bendung
- L_s : panjang karet untuk tekukan samping
- B_0 : setengah keliling tabung karet
- a : lebar sisa bahan karet di luar garis penjepitan
- fin : lebar sirip

Gambar 3 Bentuk dan dimensi lembaran karet

Tabel 1 Dimensi lembaran karet

Tinggi Bendung H (m)	B_0 (mm)	a (mm)	fin (mm)
0,50	1040	165	50
1,00	1880	165	60
1,50	2675	165	70
2,00	3505	198	90
2,50	4245	198	110
3,00	9195	237	130
3,50	6090	237	150
4,00	7105	300	170
4,50	7925	300	190
5,00	8735	300	210

7.5 Tekanan udara dalam tabung karet

Tekanan udara dalam tabung karet dibatasi oleh dua kondisi, yaitu:

- 1) harus sedemikian besar agar karet membentuk struktur tabung yang kaku dalam kaitan fungsinya sebagai pembendung air;
- 2) tabung karet harus aman dari kemungkinan meletus.

Dengan pertimbangan di atas tekanan udara dalam tabung karet direncanakan berkisar antara 2000 Pa sampai dengan 3000 Pa.

8 Perencanaan stabilitas

8.1 Fondasi

Fondasi bendung karet dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu fondasi langsung yang dibangun di atas lapisan tanah yang kuat dan fondasi tidak langsung (dengan tiang pancang) yang dibangun pada lapisan lunak.

Pada fondasi langsung, fondasi bendung karet yang menahan bangunan atas yang relatif ringan membutuhkan massa yang lebih besar untuk menjaga stabilitas terhadap penggulingan dan penggeseran. Untuk penghematan biaya konstruksi, fondasi dibuat dari sel-sel beton bertulang yang diisi dengan pasangan batu.

8.2 Stabilitas terhadap erosi buluh (*piping*)

Panjang lintasan garis rembesan yang aman terhadap bahaya *piping* bisa dihitung dengan menggunakan metode yang ada seperti Bligh, Lane, jaring aliran (*flow net*), dan sebagainya. Sebagai contoh, persyaratan keamanan terhadap bahaya *piping* menurut teori Lane adalah :

$$C_L \leq \frac{\sum (L_H/3) + \sum L_V}{\Delta H} \dots\dots\dots (12)$$

dengan :

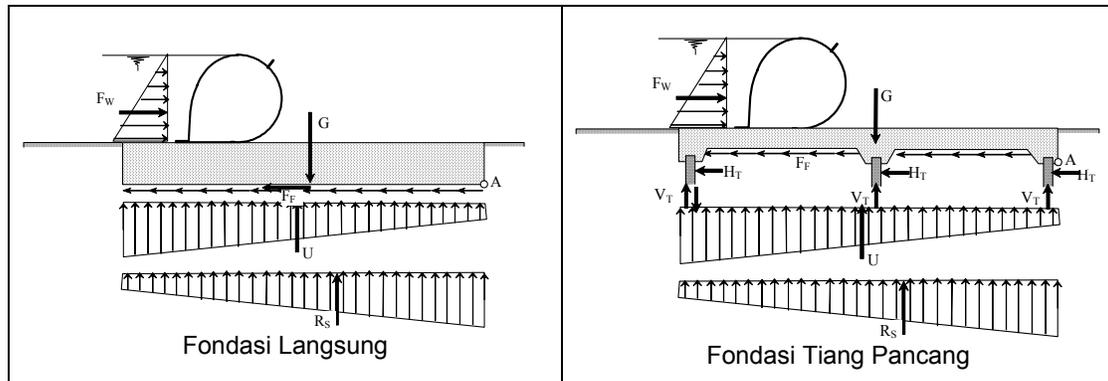
- L_H adalah panjang bagian horizontal permukaan dasar fondasi (m)
- L_V adalah panjang bagian vertikal permukaan dasar fondasi (m)
- ΔH adalah beda tinggi muka air hulu dan hilir, diambil = H (m)
- C_L adalah koefisien Lane yang tergantung pada jenis tanah dasar fondasi seperti ditunjukkan pada Lampiran E.

8.3 Stabilitas fondasi

8.3.1 Gaya pada fondasi

Gaya-gaya yang bekerja pada fondasi untuk perhitungan stabilitas antara lain sebagai berikut (lihat Gambar 4):

- 1) gaya hidrostatis, yang diperhitungkan pada kondisi air normal dengan di hilir kosong (F_w),
- 2) gaya berat fondasi (G),
- 3) gaya angkat air (U),
- 4) gaya reaksi dasar fondasi (R_S), dan
- 5) gaya tahanan tiang pancang (H_T dan V_T) pada fondasi tiang pancang.



Gambar 4 Skema gaya yang bekerja pada fondasi

8.3.2 Stabilitas terhadap penggulingan

Pemeriksaan stabilitas terhadap penggulingan dihitung dengan persamaan:

$$S_{FR} = \frac{\sum M_T}{\sum M_R} \geq 1,5 \dots\dots\dots (13)$$

dengan

S_{FR} adalah faktor keamanan terhadap guling

M_R adalah momen gaya-gaya penggulingan terhadap ujung hilir fondasi (Nm).

M_T adalah momen gaya-gaya penahan terhadap ujung hilir fondasi (Nm)

8.3.3 Stabilitas terhadap penggeseran

Pemeriksaan stabilitas terhadap penggulingan dihitung dengan persamaan:

$$S_{FS} = \frac{\sum F_T}{\sum F_S} \dots\dots\dots (14)$$

dengan

S_{FS} adalah faktor keamanan terhadap geser

F_S adalah gaya-gaya penggeser (N)

F_T adalah gaya-gaya penahan (N)

Persyaratan besarnya S_{FS} ditunjukkan pada Sub-bab 8.3.6.

8.3.4 Stabilitas terhadap gaya angkat

$$S_{FU} = \frac{\sum F_G}{\sum F_U} \geq 1,2 \dots\dots\dots (15)$$

dengan:

S_{FU} adalah faktor keamanan terhadap pengangkatan

F_U adalah gaya angkat air (N)

F_G adalah gaya berat fondasi dan kekuatan tarik tiang pancang (N)

8.3.5 Stabilitas tanah dasar

Langkah pertama stabilitas diperhitungkan dengan dimensi fondasi yang stabil menurut perhitungan pada Sub-sub pasal 8.3.2 – 8.3.4.

Dengan asumsi menggunakan fondasi langsung, pemeriksaan stabilitas dihitung dengan rumus:

$$S_{FB} = \frac{\sigma_a}{\sigma} \dots\dots\dots (16)$$

dengan:

S_{FB} adalah faktor keamanan daya dukung tanah

σ adalah tegangan maksimum dasar fondasi (kPa)

σ_a adalah daya dukung tanah yang diizinkan (kPa)

Persyaratan besarnya S_{FB} ditunjukkan pada sub sub bab 8.3.6.

Eksentrisitas gaya resultan dihitung dengan rumus:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M}{\sum V} \dots\dots\dots (17)$$

dengan:

e adalah eksentrisitas gaya resultan (m)

B adalah lebar dasar fondasi (m)

M adalah momen gaya-gaya terhadap ujung hilir fondasi (Nm)

V adalah komponen gaya vertikal (N)

Persyaratan besarnya e diuraikan pada Sub-sub bab 8.3.6.

Jika persyaratan tersebut terpenuhi, digunakan fondasi langsung dengan dimensi seperti yang direncanakan sebelumnya.

Jika persyaratan tidak terpenuhi, harus menggunakan fondasi tiang pancang. Pada kondisi ini dimensi pelat fondasi harus diubah menjadi kombinasi antara pelat penghubung dan seri tiang pancang.

Pemeriksaan stabilitas terhadap penggeseran, penggulingan, dan gaya angkat diulang kembali dengan memperhitungkan juga kekuatan tiang pancang untuk menahan gaya angkat dan gaya horizontal. Perhitungan ini akan menentukan jumlah dan dimensi tiang pancang.

Langkah selanjutnya adalah pemeriksaan stabilitas tanah dasar dengan struktur fondasi yang sudah ditetapkan di atas.

8.3.6 Persyaratan angka keamanan

Angka keamanan terhadap penggulingan (S_{FS}), eksentrisitas gaya resultan (e) pada penggulingan dan daya dukung tanah (S_{FB}) ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Persyaratan angka keamanan stabilitas fondasi

Kondisi desain	S_{FS}	e	S_{FB}
Normal	1,5	$< B/6$	3
Dengan gempa	1,2	$< B/3$	2
Banjir	1,5	$< B/6$	3
Pelaksanaan	1,2	$< B/3$	2

9 Perencanaan instalasi

9.1 Lubang angin

Lubang angin merupakan lubang bagi pemasukan dan pengeluaran udara pada tabung karet. Jumlah lubang minimum dua lokasi, yaitu di kedua ujung tabung karet dengan memasang pipa baja dalam tabung. Hal ini diperlukan untuk menghindari terjebaknya udara pada satu sisi tabung karet ketika terjadi v-notch yang bisa menutup rongga tabung karet. Lubang angin bisa dibuat lebih dari dua, yang diletakkan merata di sepanjang pipa baja dalam tabung karet.

Dalam tabung karet juga perlu dilengkapi lubang drainase yang diperlukan untuk menguras akumulasi air yang terjadi akibat pengembunan udara yang dimampatkan.

9.2 Pompa dan saluran udara

Pompa udara harus disediakan untuk mengembangkan tabung karet. Pemompaan udara ke dalam tabung karet harus dilengkapi dengan instrumen pengontrol tekanan udara (manometer).

Kapasitas pompa untuk mengembangkan bendung ditentukan dengan rumus berikut.

$$K_p = \frac{C V_b}{t_i} \dots\dots\dots (18)$$

dengan:

K_p adalah kapasitas pompa (m^3 /menit)

C adalah rasio tekanan udara dalam tabung karet dan udara luar

V_b adalah volume tabung karet (m^3)

t_i adalah waktu pengisian diambil dalam kisaran antara 10 menit sampai dengan 30 menit.

Diameter pipa saluran udara ditentukan berdasarkan waktu pengempisan dengan persamaan berikut.

$$t_o = \frac{V_b}{15 \pi D^2 v_o} \dots\dots\dots (19)$$

$$v_o = \sqrt{\frac{2 g p_r}{(1+f L/D) \rho_a}} \dots\dots\dots (20)$$

$$p_r = 0,5 (\rho_w h_1 + p_b + \rho_w h_3) \dots\dots\dots (21)$$

dengan:

t_o adalah waktu pengempisan (menit)

V_b adalah volume tabung karet (m^3)

D adalah diameter pipa (m)

v_o adalah kecepatan rata-rata udara keluar (m/s)

g adalah gravitasi (m/s^2)

p_r adalah tekanan rata-rata udara dalam tabung selama pengempisan (Pa),

f adalah koefisien kekasaran pipa, diambil 0,03

L adalah panjang pipa (m)

ρ_a adalah rapat massa udara = $0,0012 \text{ ton}/m^3$

ρ_w adalah rapat massa air = $1 \text{ ton}/m^3$

h_1 adalah tinggi pembendungan maksimum (m)

h_3 adalah kedalaman air banjir pada saat bendung kempis total (m).

Dengan t_o diambil sekitar 10 menit sampai dengan 20 menit bisa dihitung besarnya diameter pipa D .

9.3 Sistem otomatisasi

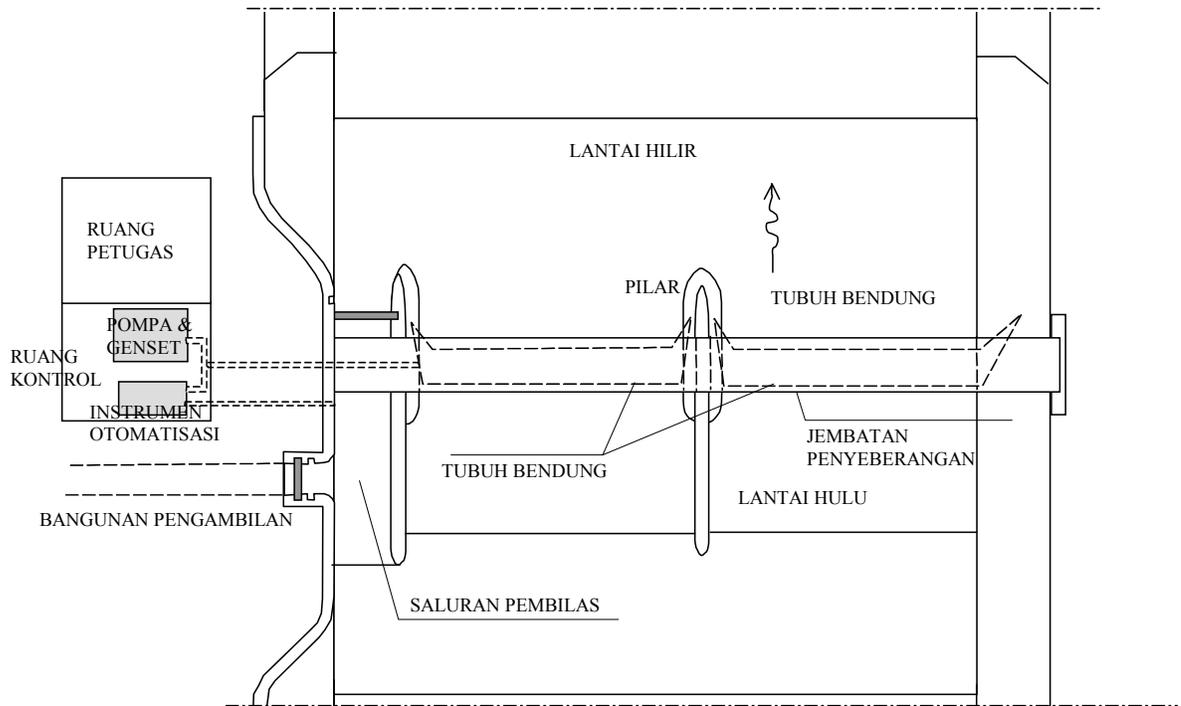
Prinsip kerja sistem otomatisasi adalah apabila muka air sungai di hulu bendung sudah mencapai muka air pengempisan yang direncanakan, akan terjadi aliran masuk ke dalam sistem, yang diatur untuk menggerakkan tuas pembuka tutup saluran udara dari tabung karet. Sistem penggerak tuas yang biasa digunakan, antara lain sebagai berikut.

- a) Sistem ember, aliran air ditampung dalam suatu ember yang diikatkan pada kotak otomatisasi. Dengan makin besar berat ember, posisi ember akan turun hingga memutar tuas pembuka tutup saluran udara.
- b) Sistem pengapungan, aliran air ditampung dalam suatu bak yang di dalamnya dipasang pelampung. Pelampung diikat dengan tali yang dihubungkan dengan kotak otomatisasi. Jika muka air naik, pelampung ikut naik dan menggerakkan tuas pembuka tutup saluran udara.

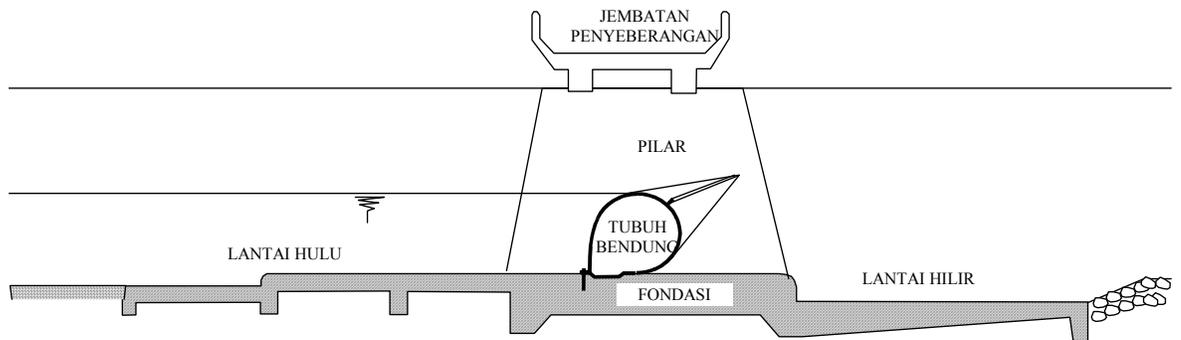
Lampiran A

(informatif)

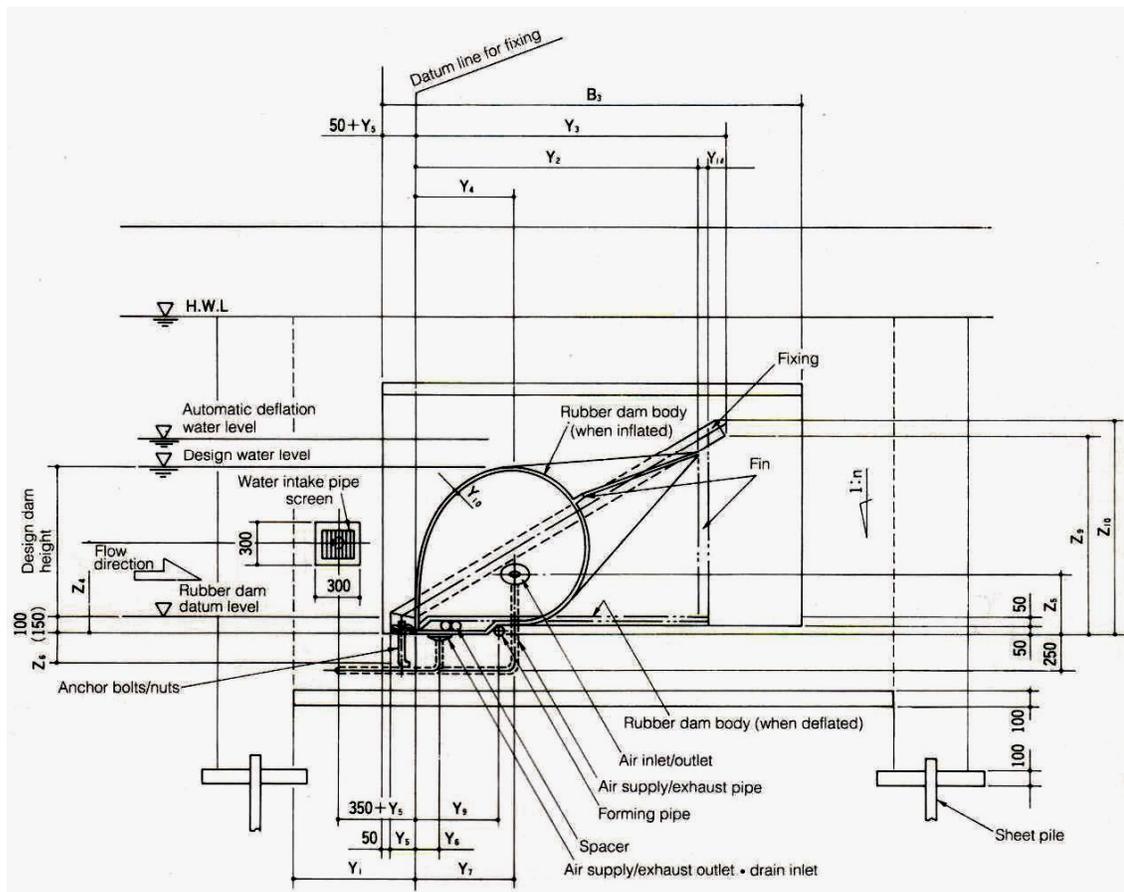
Tata letak dan komponen bendung karet



Gambar A.1 Denah bendung karet



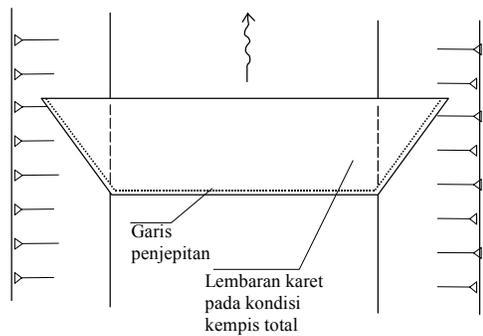
Gambar A.2 Potongan melintang bendung karet



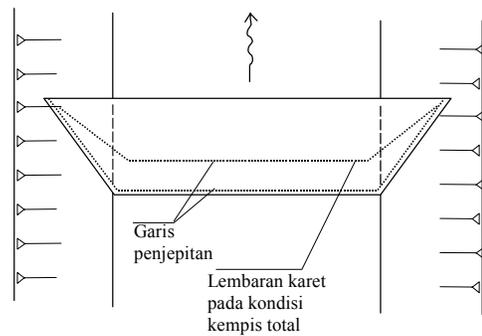
unit : mm

Dam height	B ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	Y ₁₄	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₉	Z ₁₀
500	2000	815	1040	1201	360	165	125	360	1165	300	10.6	50	350	178	198	749	841
1000	2800	815	1880	2046	660	165	155	660	1975	550	10.6	50	850	371	198	1309	1398
1500	3600	815	2675	2864	960	165	155	960	2790	550	10.6	70	1350	575	198	1878	1965
2000	4500	848	3505	3741	1260	198	155	1260	3640	550	10.6	90	1850	794	226	2457	2562
2500	5300	848	4245	4511	1560	198	155	1560	4400	550	11.8	110	2350	984	226	3031	3134
3000	6300	907	5195	3512	1860	257	155	1860	5370	550	13.8	130	2850	1127	251	3609	3745
3500	7300	900	6090	6440	2190	250	155	2190	6285	700	13.8	150	3400	1374	271	4235	4367
4000	8400	950	7105	7511	2490	300	155	2490	7320	700	15.2	170	3900	1554	334	4813	4974
4500	9300	950	7925	8352	2790	300	155	2790	8160	900	22.5	190	4400	1754	334	5379	5539
5000	10100	950	8735	9183	3090	300	155	3090	8990	900	22.5	210	4900	1957	334	5944	6104

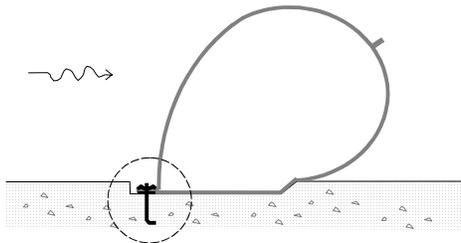
Gambar A.3 Contoh detail dimensi tubuh bendung karet



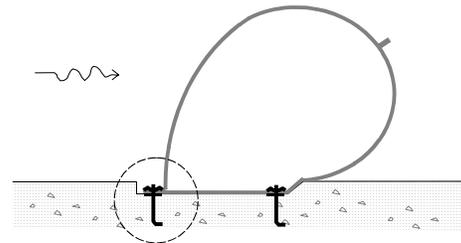
Denah garis penjepitan pada angker tunggal



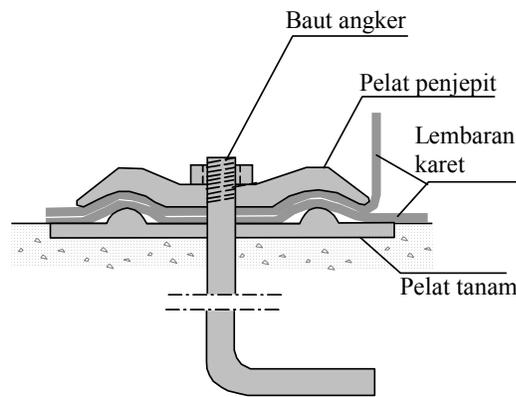
Denah garis penjepitan pada angker ganda



Penampang lintang bendung dengan angker tunggal

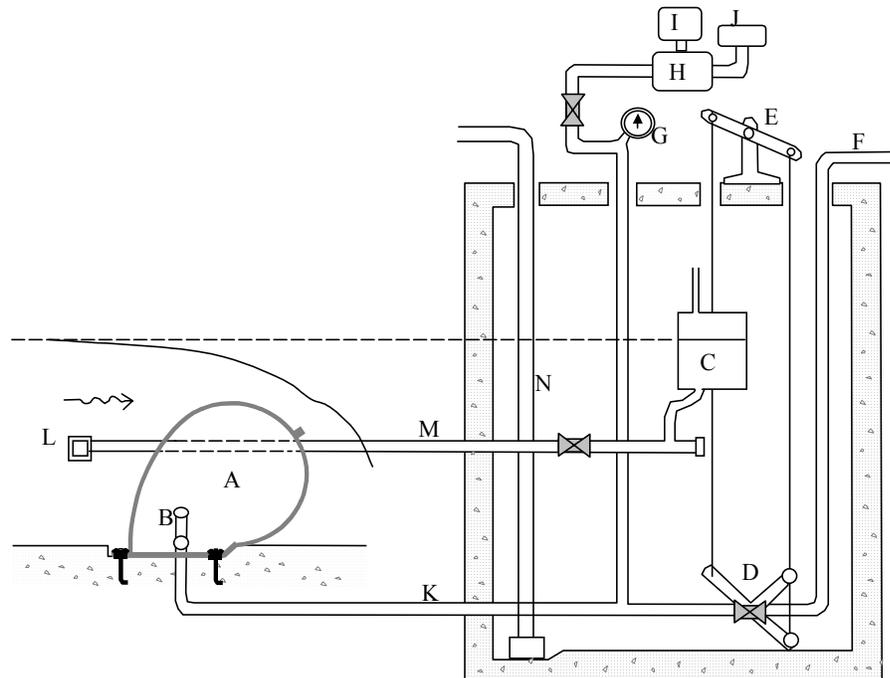


Penampang lintang bendung dengan angker ganda



Detail Angker hulu

Gambar A.4 Sistem penjepitan bendung karet



Keterangan :

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| A. Tubuh bendung | H. Pompa udara |
| B. Lubang ventilasi | I. Motor |
| C. Ember penampung air | J. Saringan udara masuk |
| D. Tuas pembuka katup pembuang | K. Pipa pengisian/pembuang |
| E. Sistem transmisi pembuka katup | L. Lubang masukan air |
| F. Pipa pembuang udara | M. Pipa masukan air |
| G. Manometer | N. Pipa drainase |

Gambar A.5 Skema instalasi operasi dengan otomatisasi tipe ember

Lampiran B

(Informatif)

Panelisasi bentang bendung

B.1 Maksud dan tujuan

Panelisasi bentang bendung adalah pembagian bentang bendung karet menjadi panel-panel yang masing-masing bisa diatur waktu pengempisan dan pengembangannya.

Tujuan panelisasi adalah untuk mempertahankan muka air di hulu bendung agar selalu mendekati muka air normal dan untuk menghemat operasi kembang-kempis bendung karet.

B.2 Penghitungan panjang panel

B.2.1 Dasar perhitungan

Pada waktu datang banjir besar, muka air di hulu bendung akan naik. Ketika mencapai pembendungan maksimum, bendung panel pertama dikempiskan. Panjang panel pertama didesain sedemikian rupa agar pada waktu dikempiskan muka air hulu akan turun sampai elevasi normal. Jika banjir masih meningkat sehingga muka air mencapai pembendungan maksimum, panel kedua dikempiskan. Panjang panel kedua didesain sedemikian rupa agar pada waktu panel pertama dan kedua dikempiskan, muka air hulu akan turun mencapai elevasi normal. Demikian juga untuk panel berikutnya. *Rating curve* pada panelisasi bendung yang menerapkan operasi pengempisan bertahap disajikan pada Gambar B.1.

B.2.2 Penghitungan panel

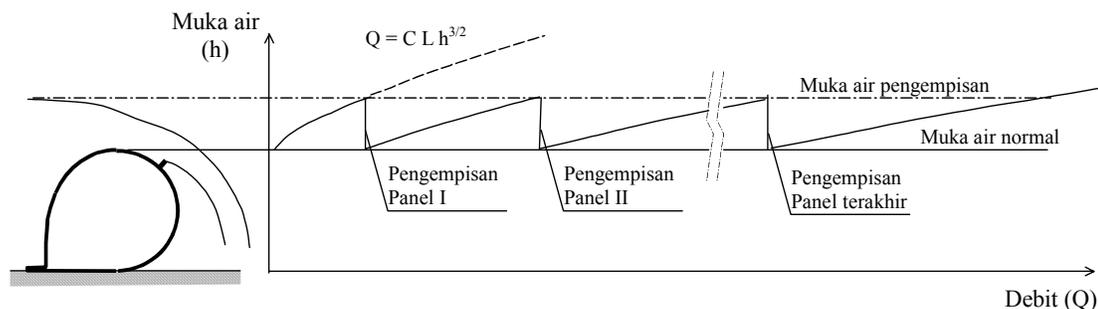
Jika rumus debit limpasan per satuan panjang q_w dan debit pada bagian yang mengempis q_k , maka panjang panel-panel dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_w \cdot L = q_k L_{p1} + q_w (L - L_{p1})$$

$$q_w \cdot L = q_k (L_{p1} + L_{p2}) + q_w (L - L_{p1} - L_{p2})$$

$$q_w \cdot L = q_k (L_{p1} + L_{p2} + L_{p3}) + q_w (L - L_{p1} - L_{p2} - L_{p3})$$

dan seterusnya untuk panel berikutnya.



Gambar B.1 *Rating curve* pada panelisasi bendung

B.3 Operasi pengempisan

Pengempisan panel-panel bendung karet dilakukan satu per satu (tidak serentak). Oleh karena itu, muka air pengempisan dibuat berbeda-beda untuk tiap panel, dengan perbedaan sekitar 3 cm. Jika panel cukup banyak dan muka air pengempisan tidak bisa dibuat relatif tinggi, operasi pengempisan bisa dilakukan secara manual, dengan muka air pengempisan sama untuk seluruh panel.

Lampiran C

(informatif)

Rumus penghitungan debit limpasan

C.1 Debit limpasan pada pembendungan maksimum

Total debit limpasan pada pembendungan maksimum dihitung dengan rumus:

$$Q_w = C_w L h_1^{3/2}$$

dengan :

Q_w adalah debit limpasan pada pembendungan maksimum (m^3/s),

C_w adalah koefisien limpasan ($m^{1/2}/s$),

L adalah panjang bentang bendung (m),

h_1 adalah tinggi pembendungan maksimum (m).

Besarnya C_w bisa didekati dengan rumus:

$$C_w = 1,77 (h_1/H) + 1,05 \quad (\text{untuk } 0 < h_1/H < 0,3)$$

C.2 Debit spesifik pada V-Notch

Debit pada V-notch dihitung dengan asumsi karet pada pusat V-notch mengempis total, sedangkan di bagian lain masih mengembang sempurna. Sementara itu, muka air hulu sama dengan muka air pada pembendungan maksimum.

Besarnya debit dihitung dengan rumus:

$$q_v = C_v (H+h_1)^{3/2}$$

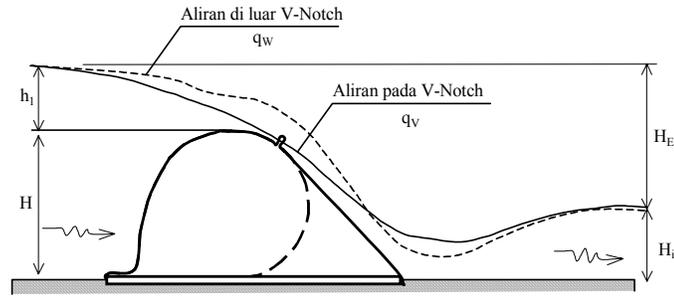
dengan:

q_v adalah debit spesifik pada V-notch (m^3/s)

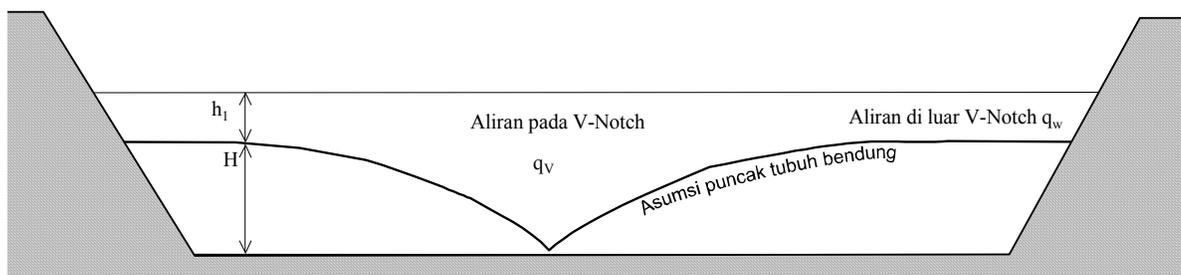
C_v adalah koefisien aliran yang bisa diambil 1,38 ($m^{1/2}/s$)

H adalah tinggi bendung (m)

h_1 adalah tinggi pembendungan maksimum (m)



Penampang lintang pada pusat V-notch



Tampak depan tabung karet yang mengalami v-notch.

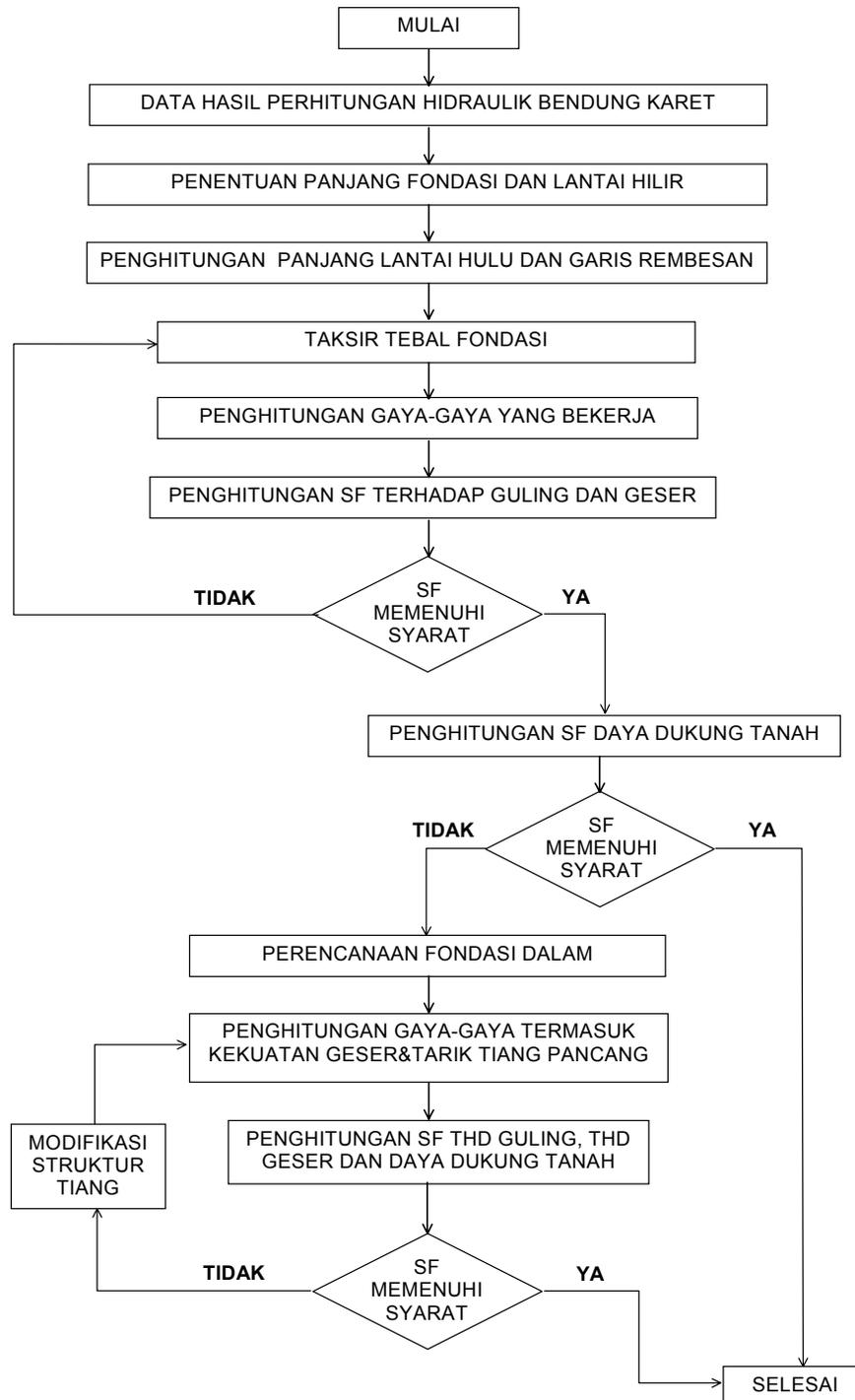
Keterangan : q_v = debit spesifik pada v-notch
 q_w = debit limpasan pada pembendungan maksimum

Gambar C.1 Kondisi aliran untuk perhitungan debit limpasan

Lampiran D

(informatif)

Bagan alir perencanaan stabilitas fondasi



Lampiran E

(informatif)

Daftar koefisien Lane (C_L)

Jenis tanah	C_L
Lanau atau pasir sangat halus	8,5
Pasir halus	7
Pasir sedang	6
Pasir kasar	5
Gravel halus	4
Gravel sedang	3
Gravel kasar campur batu	2
Lempung lunak	3
Lempung sedang	2
Lempung keras	1,8
Batu lempung	1,6

Lampiran F
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. Sudarta, CES.	Pusat Litbang Sumber Daya Air
Ir. Rahardjanto, CES.	Pusat Litbang Sumber Daya Air

Bibliografi

1. Bridgestone : Rubber dam, brochure W121-9307, Japan, 1994.
2. CTI Engineering Co., LTD. : Detailed design and construction supervision of rubber dam construction works for Jeneberang raw water supply project in the Bili-bili multipurpose dam project, Makassar, 1994.
3. Dedi Tjahjadi Abdullah, Ir. : Bendung karet di Indonesia, makalah pada seminar bendung karet, Serang, 1999.
4. Departemen Pekerjaan Umum : KP-02, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama.
5. Departemen Pekerjaan Umum : KP-06 : Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama.
6. Indah Karya, PT. : Detail desain bendung karet Welahan-Bum, laporan utama bagian A, Semarang, Januari 1995.
7. PAU Ilmu Teknik UGM : Re-kalkulasi desain fondasi bendung karet K. Lamong I, Yogyakarta, 1994.