

PRILAKU HIDROLIS BENDUNG KARET DIISI AIR

M. Syahril BK¹, Dedi Tjahyadi¹ dan M. Budi Saputra¹

ABSTRACT

This paper presents experimental study of hydraulic characteristic of water filled rubber dam. Several parameter had been studied such as v-notch, vibration phenomena, geometry deformation and discharge coefficient. Good agreement was found between experimental study and literature study. The result had shown that: V-notch phenomena does not occur on water filled rubber dam for any deflated height, vibration phenomena was occurred when deflated height reach 43% from the actual height, the discharge coefficient for free-flow is bigger than submerged-flow and the deformation were reached for both free flow and submerged flow condition.

Keywords : Rubberdam, Experimental Study, Hydraulic Characteristic

LATAR BELAKANG

Pengembangan teknologi bendung karet pertama kali dilakukan di Amerika Serikat pada tahun 1948. Dibandingkan dengan bendung tetap dan bendung gerak, Bendung Karet dianggap lebih ramah lingkungan dan lebih tahan dari musim dingin sehingga diadopsi oleh negara-negara lain seperti Jepang, Cina, Iran, Thailand, Filipina, Indonesia dll. Pada saat ini, telah dibangun sebanyak > lebih dari 6000 buah Bendung Karet di 20 negara.

Pembangunan bendung karet di Indonesia baru dilakukan pada tahun 1989 di Demak, Jateng. Sejak saat itu, dikenal dua tipe teknologi pembangunan bendung karet di Indonesia yaitu bendung karet berisi air (tipe RRC) dan berisi udara (tipe Jepang). Penggunaan Bendung Karet sangat efektif untuk sungai yang tidak mengandung sedimen berbentuk runcing. Walaupun mempunyai prospek yang baik, kurangnya pemahaman pada teknologi terkait, mengakibatkan teknologi bendung karet sangat sedikit digunakan. Perilaku hidrolis

bendung karet, merupakan salah satu faktor utama yang menjadi penghambat upaya penguasaan teknologi pembangunan bendung karet. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba mempelajari perilaku hidrolis bendung karet berisi air dengan tujuan :

- Menentukan ambang batas tinggi pengembosan optimum bendung karet.
- Menentukan kurva debit mercu bendung saat pengembosan optimum.
- Deformasi tubuh bendung akibat aliran air.
- Mengamati fenomena Vibrasi dan V-notch

KARAKTERISTIK BENDUNG KARET BERISI AIR

Tipikal Prototip Konstruksi Bendung Karet

Tubuh bendung karet terdiri dari lapisan karet dan lapisan perkuatan dari kanvas/kain. Lapisan perkuatan yang berfungsi sebagai tulangan tubuh bendung

¹ Pengajar Teknik Sipil ITB

dan mampu menahan gaya tarik akibat tekanan air, terdiri dari selapis atau beberapa lapis kain. Antar lapisan kanvas tersebut selalu diletakan lapisan perantara dari karet. Lapisan luar bendung karet tersebut mempunyai ketebalan 5mm, berdaya tahan terhadap cuaca, tidak mudah pecah, tahan terhadap kikisan (oleh pasir, EPDM) dan tahan terhadap kelelahan (pada daerah angker). Karena kebanyakan sungai di Indonesia selalu mengandung sedimen maka disarankan agar ketebalan lapisan luarnya dibuat 2.5-5 mm lebih tebal dari lapisan luar bendung karet impor. Pada umumnya Bendung Karet tersebut diikat dengan embedded dan clamping yang dikaitkan ke pondasi beton melalui sebuah angker. Untuk mencegah vibrasi, pengembosan bendung karet berisi air bisa dilakukan antara 40-100% dari tinggi maksimum. Tinggi air maksimum diatas mercu bendung karet dapat diambil sebesar 1.1-1.2 H yang merupakan tinggi air diudik Bendung Karet pada saat banjir rencana terjadi. Aliran air diatas mercu Bendung

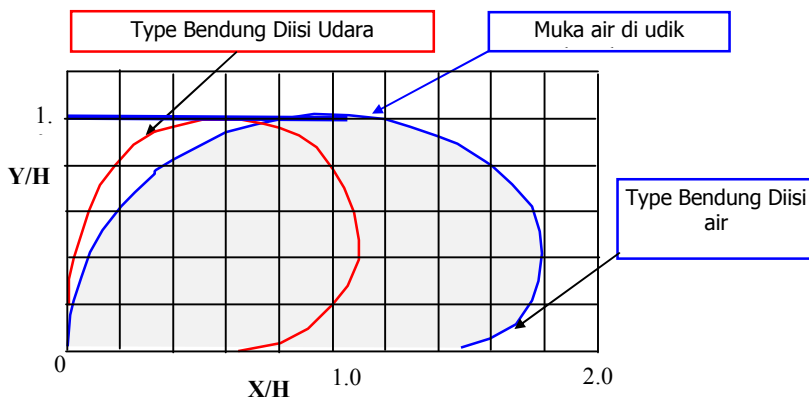
Karet sangat dipengaruhi oleh tekanan udara atau air dalam tubuh Bendung Karet. Dengan perkataan lain harga h/H dipengaruhi oleh P/H . Besaran debit aliran diatas mercu bendung karet dapat dihitung berdasarkan rumus empiris sbb.:

a. Peluap sempurna

$$Q = C.B.h^{3/2} \dots\dots\dots(1)$$

dimana

- Q = debit aliran di atas mercu (m^3/det)
- C = Koef pengaliran mercu bendung
 = 1,77 $h/H + 1,05$ (berisi udara dengan $0 < h/H < 0,6$)
 = 1,37 $h/H + 0,96$ (berisi air dengan $0 < h/H < 1,0$)
- B = Lebar tubuh bendung (m)
- h = Tinggi air di atas mercu bendung (m)
- H = Tinggi pembendungan (m)



Gambar 1. Perbandingan geometri bendung karet berisi air dan berisi udara

b. Peluap tidak sempurna

$$Q = C'.B.h^{3/2} \dots\dots\dots(2)$$

dimana

$$C' = (-0,2 (hd-H)/h+1,1).C \text{ untuk } (0,5 < (hd-H)/h < 0,85)$$

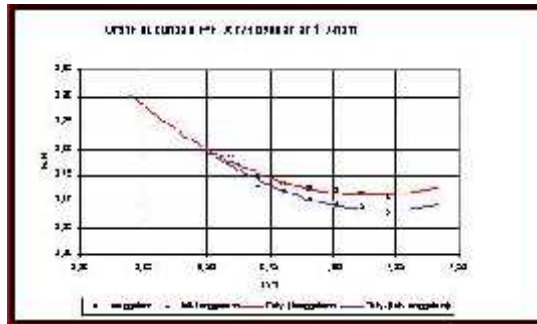
hd = Kedalaman air di hilir (m)

c. Peluap tenggelam

$$Q = C''.B.h^{3/2} \dots\dots\dots(3)$$

dimana

$$C'' = (2,82(hd-H)/h) \{ 1-(hd-H) /h \}.C \text{ untuk } 0,85 < (hd-H)/h < 1,0$$



Gambar. 2. Hubungan antara P/H dan h/H pada Bk anti V Notch (P= Tekanan air di badan bendung (kg/cm²))

Karena bersifat fleksibel, pada saat dialiri air, tubuh Bendung Karet akan bergerak ke arah hilir sehingga tingginya berubah. Perubahan tinggi air dihilir bendung karet juga dapat merubah posisi dan tinggi puncak bendung karet sebagai akibat adanya perubahan tekanan dalam kantong bendung karet. Fenomena tersebut dapat dipelajari dari parameter P'/H' dan h/H'sbb.:

a). Peluap Sempurna

$$P'/H' = 0.1397 (Y_3/H') + 1.6897 \dots (4)$$

$$h/H' = -0.0186 (Y_3/H') + 0.109 \dots (5)$$

b). Peluap Tenggelam

$$P'/H' = 0.0124 \text{ Ln} (Y_3/H') + 1.8167 \dots (6)$$

$$h/H' = 0.1134 \text{ Ln} (Y_3/H') + 0.1094 \dots (7)$$

dimana

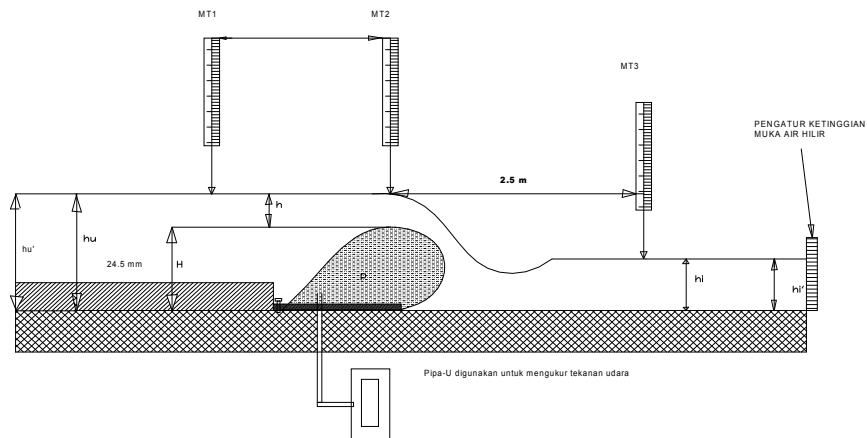
- P = tekanan dalam kantong BK.
- H' = tinggi bendung karet dikala kembang 100 %.
- Y₃ = tinggi air di hilir BK.
- h = tinggi limpasan air diatas mercu Bendung Karet.
- hu = tinggi air total di udik BK.

PENGATURAN EKSPERIMEN DI LABORATORIUM

Geometri Bendung Karet

Model uji Bendung Karet dibuat dari lembaran karet polos dan karet sintesis tanpa serat setebal 2mm dan diuji pada saluran trapesium dengan lebar atas 3m dan lebar dasar 2m. Gambar 3 menunjukkan potongan memanjang Bendung Karet beserta parameter hidraulis dan penempatan peralatan pengukurannya sbb.:

- o Pipa-U sebagai pengukur tekanan udara dalam tubuh bendung
- o Pintu ukur Rechbock sebagai pengukur debit
- o Parameter hidraulis sbb.:
 - hu' = tinggi bacaan muka air dihilir
 - hi' = tinggi muka air di hilir
 - hi = tinggi muka air dihilir dari elevasi 0.00
 - H = tinggi bendung dalam kondisi mengembang



Gambar. 3. Potongan memanjang Bendung Karet dan letak alat pengukur

Metoda Pengukuran

Ada beberapa jenis pengukuran yang dilakukan disini diantaranya adalah :

1. Pengukuran debit dengan formulasi

$$Q = 1,39 \cdot h^{5/2} \dots\dots\dots (8)$$

2. Pengukuran elevasi muka air.
3. Pengukuran tinggi muka air diatas mercu.
4. Pengukuran tinggi muka air di hilir bendung.
5. Pengukuran tinggi tekanan Air didalam tubuh bendung.

Seri pengukuran.

Dilakukan beberapa seri pengukuran yaitu meliputi :

- Seri Pengukuran I
Merupakan pengamatan tinggi penggembosan yang dapat menimbulkan vibrasi dan perubahan perilaku aliran saat dilakukan penggembosan. Pengamatan ini dilakukan untuk beberapa debit tetap dimana pada tiap debit dilakukan variasi tinggi bendung. Identifikasi vibrasi dilakukan melalui pengamatan perubahan/getaran muka air.
- Seri Pengukuran II
Merupakan pengamatan untuk mencari tinggi air maximum dan koefisien debit

dias atas mercu bendung pada tiap tinggi bendung optimum (tetap) dengan debit berubah-ubah.

- Seri pengukuran III
Pengamatan deformasi tubuh bendung akibat aliran air di atas mercu bendung.

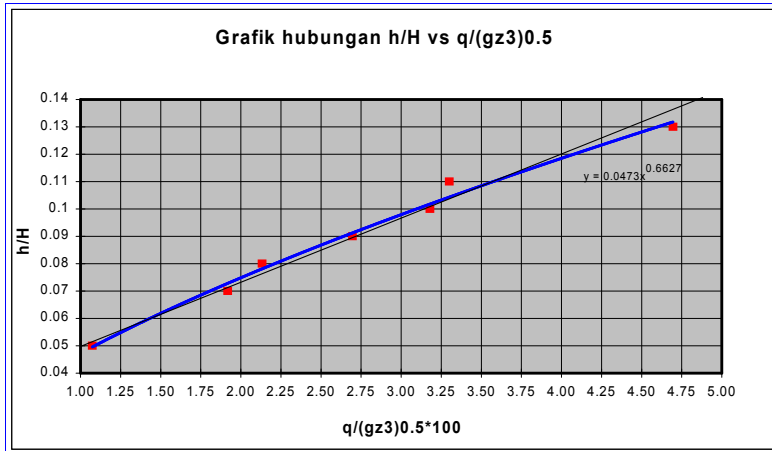
HASIL DAN KAJIAN EXPERIMENTAL

Kalibrasi Debit Limpasan Bendung Karet

Kalibrasi limpasan dilakukan dengan mengamati kurva debit pada mercu bendung karet. Hasil pengukuran diolah untuk memperoleh grafik hubungan antara h/H dan $q/(gz^3)^{0.5}$, grafik tersebut selanjutnya digunakan untuk mencari tinggi muka air diatas bendung dengan lebar BK yang sudah ditentukan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa grafik tersebut mempunyai kecenderungan garis lurus dengan persamaan sbb.:

$$h/H = 0.023 q/(gz^3)^{0.5} + 0.027 \dots\dots\dots (9)$$

dimana
z = selisih muka air udik dan hilir bendung karet (m)



Gambar. 4. Grafik untuk menghitung debit yang lewat diatas mercu BK

Dengan memasukan kalibrasi tersebut ke persamaan (1), untuk bendung karet pada kondisi aliran bebas (pelimpah sempurna) diperoleh persamaan koefisien aliran sbb.:

$$C = 0.079 (h/H') + 1.1477 \dots \dots \dots (10)$$

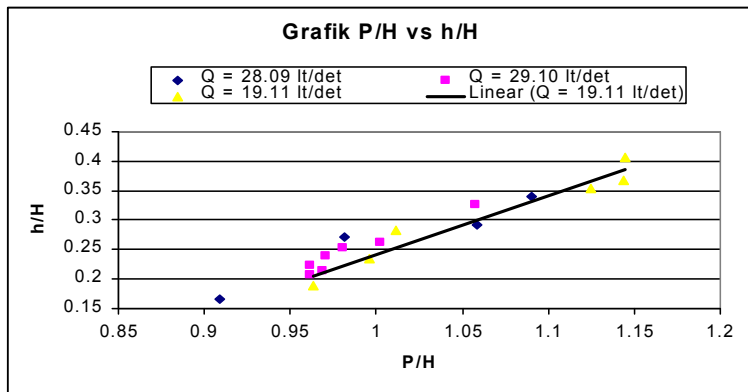
Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk limpasan air yang sama, perhitungan dengan menggunakan rumus (1), (2) dan (3) diatas akan memberikan lebar Bendung Karet yang cenderung lebih besar dari lebar bendung tipe lainnya (misalnya bendung mercu bulat).

Hasil Pengamatan Perubahan Geometri, Vibrasi dan V-knot

Hasil pengamatan sebanyak 3 seri dapat disajikan pada uraian di bawah ini.

a). Seri I : Pengukuran debit tetap dan tinggi bendung berubah-ubah

Penurunan tinggi bendung dilakukan secara bertahap mulai dari tinggi maksimum 329.9 mm. Pada seri ini vibrasi mulai teramati saat ketinggian bendung mencapai 167.5 mm dan tekanan 150 cm (pada debit 28.19 lt/s). Gejala vibrasi terus berlanjut dan semakin membesar seiring dengan penurunan tinggi bendung. Pada debit 29.19 lt/s vibrasi terjadi pada ketinggian bendung 175 mm, tekanan 200 cm kemudian terus membesar dan pada debit ketiga 19.37 lt/s vibrasi terjadi pada ketinggian tubuh bendung 148.5 mm, tekanan 160 cm.



Gambar. 5. Kondisi Batas Vibrasi

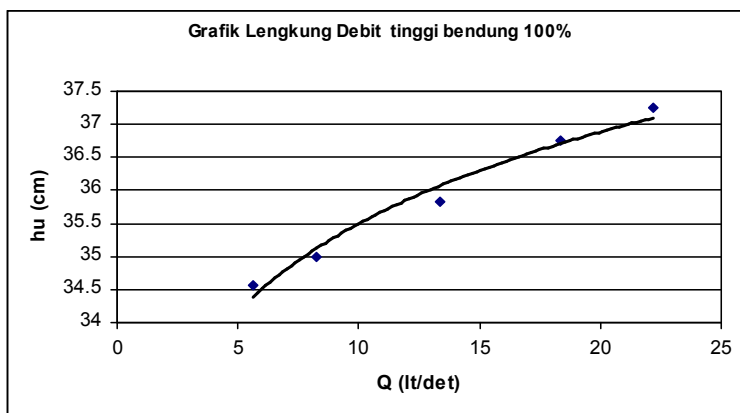
Disini terlihat bahwa vibrasi mulai terjadi pada saat penurunan tinggi bendung mencapai 43%- 56% dari tinggi bendung semula dan mencapai puncaknya pada saat ketinggian tubuh bendung 25 %. Terdapat kesamaan dengan data literatur yang ada bahwa penurunan tidak diijinkan pada ketinggian <40%. Fenomena yang sama ditemukan untuk pengaliran dengan kondisi tenggelam.

Dari pengamatan juga didapatkan bahwa V knot tidak terjadi pada bendung karet diisi air. Pada gambar 5 terlihat bahwa pada saat

vibrasi kemiringan garis pada 3 macam debit hampir berhimpit sehingga dapat ditarik suatu garis lurus. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi batas vibrasi tidak dipengaruhi oleh debit aliran.

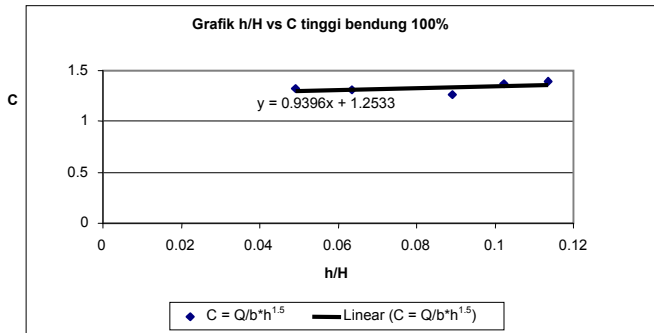
b). Sesi II : Debit Bendung Berubah dan Tinggi Bendung Tetap

Pada seri ini, aliran dianggap sebagai free flow (aliran sempurna) dengan tiga jenis tinggi bendung yaitu : 91.2%, 64%, dan 43%. Percobaan dilakukan pada dua kondisi aliran yaitu tenggelam dan tidak tenggelam.

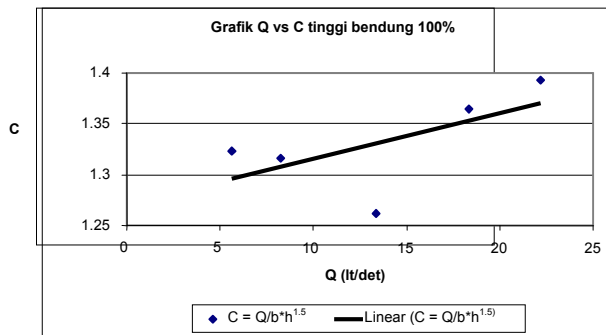


Gambar. 6. Lengkung Debit 100%

Prilaku Hidrolis Bendung Karet Diisi Air



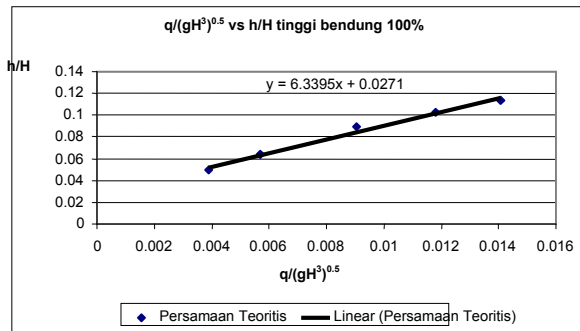
Gambar. 7. Perbandingan h/H vs $C = Q/b \cdot h^{3/2}$ 100%



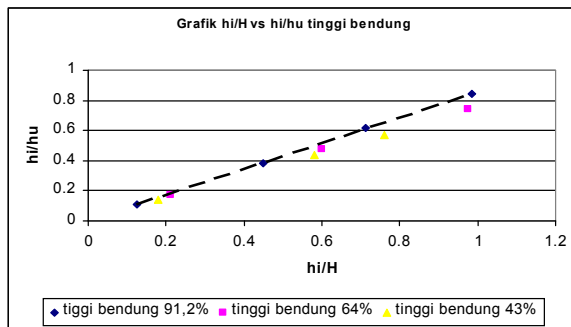
Gambar. 8. perbandingan Q vc C 100%

Dari grafik tersebut, terdapat beberapa kesamaan diantaranya kondisi tenggelam selalu dicapai pada ketinggian air di hilir melebihi 13 cm, kecuali pada ketinggian ketiga 43%. Untuk mendapatkan syarat tenggelam secara umum maka kita harus membuat grafik hubungan dari bilangan tidak berdimensi, dan didapatkan bahwa

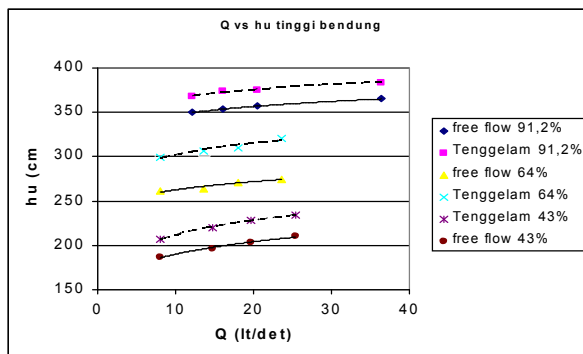
kondisi tenggelam untuk bendung dengan ketinggian 91.2 % dicapai bila $h_i/H > 0.58$. Kemudian untuk tinggi bendung pada 64% dan 43% didapat kondisi batas tenggelam adalah sama bila nilai $h_i/H > 0.58$. Bilangan ini dapat kita gunakan sebagai batasan penentuan kondisi aliran akibat penurunan ketinggian tubuh bendung.



Gambar 9. $q/(gH^3)^{1/2}$ vs h/H 100%



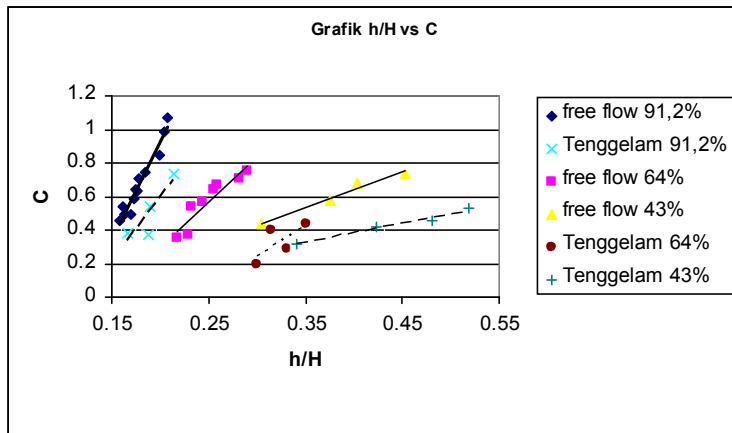
Gambar. 10. Hubungan hi/H vs hi/hu ketinggian bendung (91%, 64% & 43%)



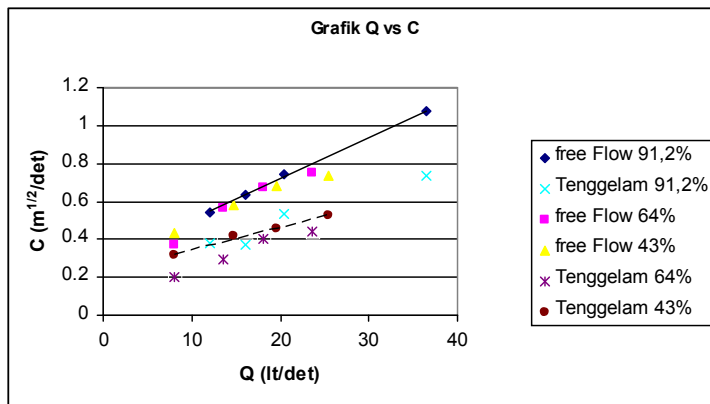
Gambar 11. Lengkung Debit (91.2%, 64% dan 43%)

Dari grafik terlihat bahwa lengkung debit untuk free flow maupun fixed flow memiliki bentuk yang sama. Pada aliran tenggelam terdapat perbedaan kenaikan h_u dibandingkan dengan free flow, dimana perbedaannya sebanding dengan

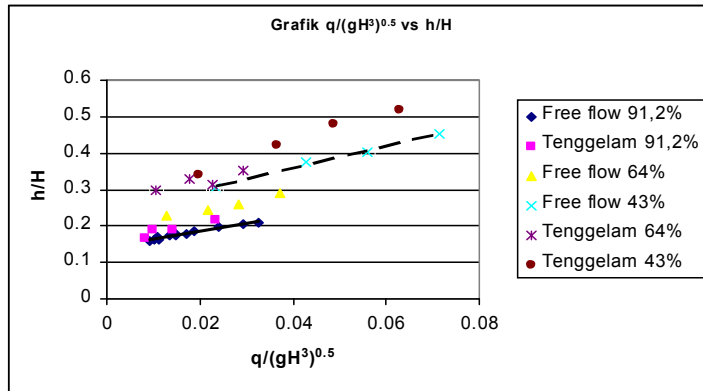
peningkatan tinggi bendung. Agar lengkung ini berlaku secara umum maka grafik dibuat tidak berdimensi dengan membagi kedua ruas dengan $(gH^3)^{1/2}$ sehingga didapat grafik-grafik sbb :



Gambar 12. Perbandingan h/H vs $C = Q/b \cdot h^{3/2}$ (91%, 64% & 43%)



Gambar 13. perbandingan Q vc C(96%, 64% dan 43%)

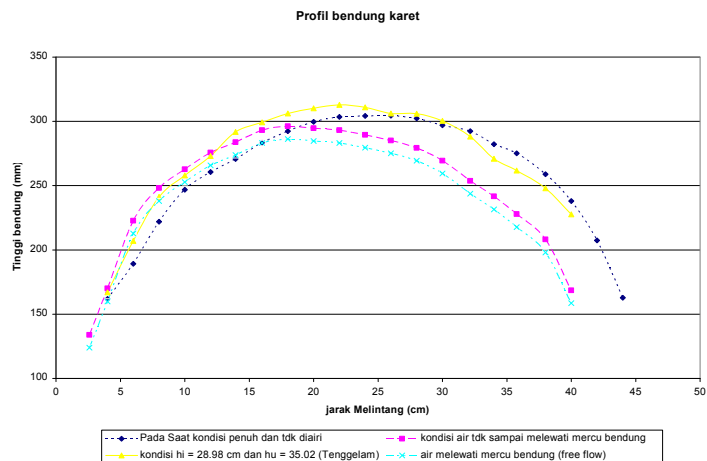


Gambar 2. $q/(gH^3)^{1/2}$ vs h/H (91%, 64% & 43%)

Dari grafik-grafik diatas terlihat bahwa nilai koefisien pengaliran pada aliran tenggelam lebih kecil dibandingkan aliran free flow karena pada free flow berlaku $Q = C B h^{3/2}$ dimana bila nilai h , C , B naik maka nilai Q semakin besar sedangkan pada aliran tenggelam nilai Q tetap dan bila nilai h naik maka nilai C harus menjadi semakin kecil.

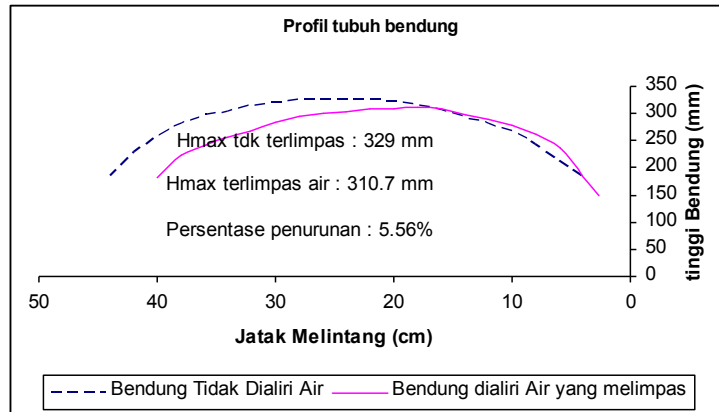
Dari grafik diatas dapat diambil kesimpulan bahwa penurunan yang dilakukan untuk tinggi 91.2%, 64%, dan 43% memiliki syarat-syarat sebagai aliran tenggelam apabila perbandingan $h_i/H > 0.58$ karena bila lebih kecil daripada 0.58 maka yang terjadi adalah aliran free-flow.

c). Sesi III : Pengukuran Profil bendung Karet



Gambar. 3. Profil Bendung Sudah Diisi Air sebelum Dialiri Air

Prilaku Hidrolis Bendung Karet Diisi Air



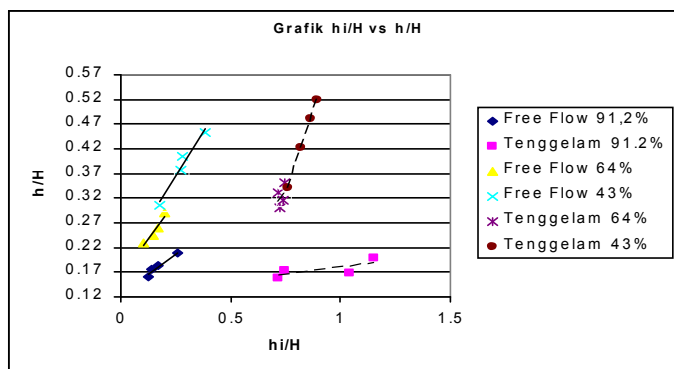
Gambar. 4. perbandingan H_{bendung} saat tidak dialiri dan saat dialiri.

Dari grafik grafik diatas dapat kita lihat bahwa pada saat air mulai dialirkan tinggi bendung menjadi berkurang sebagai akibat terdorongnya posisi tubuh bendung kedepan. Pada saat air mulai melimpas diatas tubuh bendung ketinggian tubuh bendung berkurang karena berat massa air diatas tubuh bendung. Setelah air melimpas, aliran air sebelah hilir mengimbangi tekanan air dari hulu sehingga terjadi perubahan posisi dan tinggi bendung. Dapat kita simpulkan untuk desain tinggi bendung maka kita harus menambahkan faktor sebesar 0.6 % dari

tinggi yang diinginkan untuk mengantisipasi penurunan tubuh bendung akibat limpasan air.

Perhitungan Hidrolis data penelitian

Dari grafik diatas kita dapat menggunakannya untuk desain perhitungan bendung karet diisi air dan tahap penurunan tinggi bendung. namun untuk penurunan tinggi bendung dibutuhkan grafik yang dapat menunjukkan perbandingan perubahan h/H akibat perubahan h_i/H dibawah ini beberapa grafik tersebut :



Gambar. 5. h_i/H vs h/H tinggi bendung 91.2%,64%,43%

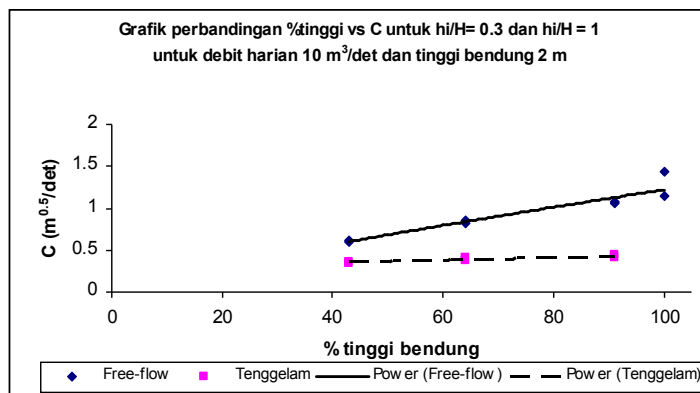
Studi banding hasil perhitungan parameter pengaliran Bendung Karet dengan menggunakan grafil-grafik tersebut diatas dengan cara nalitis dilakukan untuk debit rata-rata $Q = 10 \text{ m}^3/\text{det}$ dan beberapa kondisi sbb.:

a). tinggi mercu diturunkan sehingga $H_{\text{bendung}} : 91,2\%$ dari tinggi bendung penuh ?

b). tinggi mercu diturunkan sehingga $H_{\text{bendung}} : 64\%$ dari tinggi bendung penuh ?

c). tinggi mercu diturunkan sehingga $H_{\text{bendung}} : 43\%$ dari tinggi bendung penuh ?

Dari hasil Bandung tersebut diatas dapat dilihat nilai dari perhitungan percobaan dan laboratorium hampir mendekati untuk $Q = 10 \text{ m}^3/\text{det}$, $H_{\text{bendung}} = 2 \text{ m}$. $h/H = 0.2$



Gambar 18 Grafik Prosentase tinggi Bendung terhadap koefisien pengaliran C

Untuk kondisi pengaliran sama, studi banding dengan hasil pengukuran sebelumnya ("Perilaku hidrolis bendung karet diisi udara", Risma, 2003), didapatkan bahwa koefisien debit untuk bendung karet diisi udara lebih besar dibandingkan dengan yang diisi air. Dari hasil pengamatan tersebut beberapa perbedaan dengan hasil perhitungan dapat disimpulkan sbb.:

1. kavitasi pada tubuh bendung sehingga dengan perhitungan langsung didapatkan nilai C yang besar oleh karena itu disarankan untuk menggunakan bilangan yang tidak berdimensi sehingga kita dapatkan nilai C yang konstan.

2. perlu diperhatikannya perubahan tinggi bendung karena ini akan amat mempengaruhi nilai C.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan tersebut di atas dapat disimpulkan beberapa hal sbb.:

1. Terjadinya vibrasi diakibatkan oleh perubahan tekanan didalam tubuh bendung karet, dimana untuk pencegahannya sebaiknya penurunan tubuh bendung hanya diijinkan sampai 43%.
2. Dari hasil pengamatan dan perhitungan kita menyimpulkan bahwa nilai koefisien debit saat tinggi bendung

- diturunkan lebih kecil dibandingkan saat tinggi bendung penuh.
3. Kondisi tenggelam dicapai bila nilai perbandingan h_i/H melebihi angka 0.58 untuk tinggi bendung 91.2%, 64%, dan 43%.
 4. Fenomena V-knot tidak terjadi pada bendung karet diisi air karena tidak mudah termampatkan seperti udara.
 5. Koefisien debit saat free flow lebih kecil besar dibandingkan dengan saat tenggelam.
 6. Koefisien debit bendung karet yang diisi udara lebih besar dibandingkan dengan yang diisi air
 7. Deformasi terjadi baik sebagai akibat berat massa air diatas tubuh bendung maupun sebagai akibat dorongan air.

DAFTAR PUSTAKA

Bridgestone Corporation., *Installing The Rubber Dam*, march 1989.

Bridgestone Corporation., *Rubber Dam*, July 1991.

PU Pengairan. *Final Report Pekerjaan Pengkajian Bendung Karet di Indonesia*, Jakarta., 1998.

PU Pengairan, *Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi : Standar Perencanaan Irigasi*, Jakarta, Desember 1989.

PU Pengairan, *Final Report Pengukuran Dan Perencanaan Bendung Karet Cisawi dan Cisiri*

Seminar at Water Power; *Niagara Fall Flash Board Alternatif Including Rubber Dam*, August 23-25, 1989.

Sudjarwa, *Bendung karet Kembang Kempis Serba Guna*, Jakarta 1993

Sumitomo Electric Industries Ltd, *Tehcnical Description Of Sumigate Inflatable Rubber dam*, okt 1985.

Risman, *Kajian Laboratorium ; Prilaku Hidrolis Bendung Karet Diisi Udara*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik sipil Dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung.

Laboratorium Mekanika Fluida Dan Hidraulika, *Pengenalan Bendung Karet dan Pintu Apung Buatan Indonesia*, Departeman Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung.