

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Bendung

3.1.1. Pengertian Bendung

Bendung merupakan bangunan melintang sungai atau sudetan yang sengaja dibentuk dengan kelengkapan yang dibangun di buat untuk meninggikan elevasi muka air sehingga air dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi sesuai dengan kebutuhan dan untuk mengendalikan aliran, angkutan sedimen dan geometri sungai sehingga air dapat dimanfaatkan secara efektif, efisien, optimal dan aman. (Mawardi, 2010)

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 03-2401-1991 tentang pedoman perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai adalah bangunan ini dapat didesain dan dibangun sebagai bangunan tetap. Bendung gerak, atau kombinasinya, dan harus dapat berfungsi untuk mengendalikan aliran dan angkutan muatan di sungai sedemikian sehingga dengan menaikkan muka airnya, air dapat dimanfaatkan secara efisien sesuai dengan kebutuhannya.

3.1.2. Klasifikasi Bendung

Bendung dapat diklasifikasikan berdasarkan tipe strukturnya, yaitu:

- 1 Bendung tetap, merupakan jenis bendung yang tinggi pembendungannya tidak dapat diubah, sehingga muka air di hulu bendung tidak dapat diatur sesuai dengan yang dikehendaki. Pada bendung tetap elevasi muka air di hulu bendung berubah sesuai dengan debit sungai yang sedang melimpas. Bendung tetap biasanya dibangun pada daerah hulu sungai. Pada daerah hulu sungai kebanyakan tebing-tebing sungai yang elative lebih curam dari pada di daerah hilir.
- 2 Bendung gerak, merupakan jenis bendung yang tinggi pembendungannya dapat diatur atau diubah sesuai dengan kebutuhan. Pada bendung gerak elevasi muka air di hulu bendung dapat dikendalikan naik atau turun sesuai yang dibutuhkan

dengan membuka atau menutup pintu air. Bendung gerak biasanya dibangun di hilir sungai atau muara.

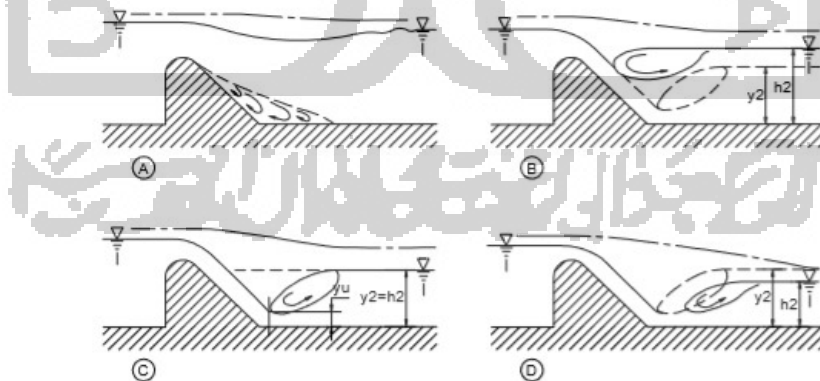
3.1.3. Syarat-syarat Konstruksi Bendung

Syarat bendung harus memenuhi beberapa faktor, yaitu:

- 1 Bendung harus stabil dan mampu menahan tekanan air pada waktu banjir.
- 2 Pembuatan bendung harus memperhitungkan kekuatan daya dukung tanah di bawahnya.
- 3 Bendung harus dapat menahan bocoran (*seepage*) yang disebabkan oleh aliran air sungai dan aliran air yang meresap ke dalam tanah.
- 4 Tinggi ambang bendung harus dapat memenuhi tinggi muka air minimum yang diperlukan untuk seluruh daerah irigasi.
- 5 Bentuk peluap harus diperhitungkan, sehingga air dapat membawa pasir, kerikil dan batu-batu dari sebelah hulu dan tidak menimbulkan kerusakan pada tubuh bendung.

3.1.4. Loncatan air

Aliran di atas bendung di sungai dapat menunjukkan berbagai perilaku di sebelah bendung akibat kedalaman air yang menyajikan kemungkinan-kemungkinan yang terjadi dari pola aliran di atas bendung.



Gambar 3.2 Loncatan Air

(sumber: kp-02)

Kasus A menunjukkan aliran tenggelam yang menimbulkan sedikit saja gangguan di permukaan berupa timbulnya gelombang. Kasus B menunjukkan loncatan tenggelam yang lebih diakibatkan oleh kedalaman air hilir yang lebih besar, dari pada oleh kedalaman konjugasi. Kasus C adalah keadaan loncatan air di mana kedalaman air hilir sama dengan kedalaman konjugasi loncatan air tersebut. Kasus D terjadi apabila kedalaman air hilir kurang dari kedalaman konjugasi, dalam hal ini loncatan akan bergerak ke hilir.

Semua tahap ini bisa terjadi di bagian hilir bendung yang di bangun di sungai. Kasus D adalah keadaan yang tidak boleh terjadi, karena loncatan air akan menghempas bagian sungai yang tak terlindungi dan umumnya menyebabkan penggerusan luas.

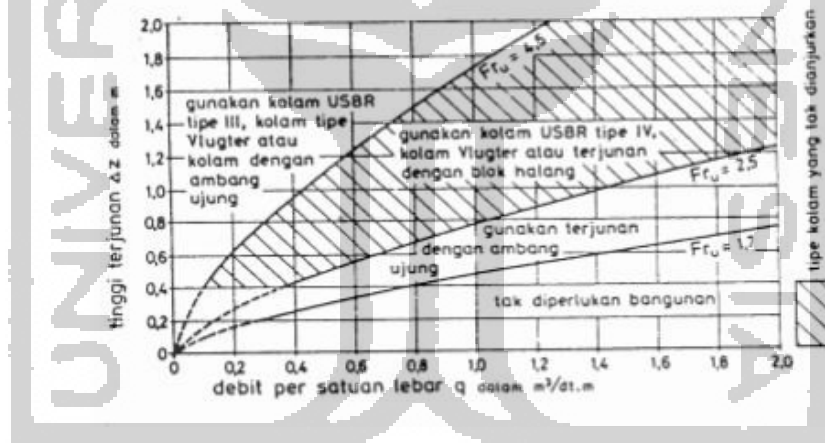
3.1.5. Kolam Olak

Kolam olak adalah suatu konstruksi yang berfungsi sebagai peredam energi yang terkandung dalam aliran dengan memanfaatkan loncatan hidraulis dari suatu aliran yang berkecepatan tinggi. Kolam olak sangat di tentukan oleh tinggi loncatan hidraulis, yang terjadi di dalam aliran. Dalam perencanaan kolam olak tergantung pada energi yang masuk yang dinyatakan dengan bilangan Froude, dan tergantung juga pada bahan konstruksi yang digunakan untuk kolam olak. Berdasarkan bilangan Froude, dapat dibuat pengelompokan-pengelompokan berikut ini dalam perencanaan kolam (KP 04, 1986)

- 1 Untuk $Fr \leq 1,7$ tidak diperlukan kolam olak, pada saluran tanah bagian hilir harus dilindungi dari bahaya erosi, saluran pasangan batu atau beton tidak memerlukan perlindungan khusus
- 2 Bila $1,7 < Fr < 2,5$ maka kolam olak diperlukan untuk meredam energi secara efektif. Pada umumnya kolam olak dengan ambang ujung mampu bekerja dengan baik. Untuk penurunan muka air $\Delta Z < 1,5$ m dapat dipakai bangunan terjun tegak.
- 3 Jika $2,5 < Fr \leq 4,5$ maka akan timbul situasi yang paling sulit dalam memilih kolam olak yang tepat. Loncatan air tidak terbentuk dengan baik dan

menimbulkan gelombang sampai jarak yang jauh di saluran. Cara mengatasinya adalah mengusahakan agar kolam olak untuk bilangan Froude ini mampu menimbulkan olakan (turbulensi) yang tinggi dengan blok halangnya atau menambah intensitas pusaran dengan pemasangan blok depan kolam. Blok ini harus berukuran besar (USBR tipe IV). Tetapi pada prakteknya akan lebih baik untuk tidak merencanakan kolam olak jika $2,5 < Fr < 4,5$. Sebaiknya geometrinya diubah untuk memperbesar atau memperkecil bilangan Froude dan memakai kolam dari kategori lain.

- 4 Jika $Fr \geq 4,5$ ini akan merupakan kolam mini pendek. Tipe ini, termasuk kolam olak USBR tipe III yang dilekapi dengan blok depan dan blok penghalang. Kolam loncat air yang sama dengan tangga di bagian ujungnya akan jauh lebih Panjang dan mungkin harus digunakan dengan pasangan batu.



Gambar 3.3 Diagram untuk memperkirakan tipe bangunan yang akan digunakan untuk perencanaan detail

(sumber: kp-04)

3.1.6. Bangunan Peredam Energi tipe Kotak-Kotak

Untuk mengatasi terjadinya gerusan dan kerusakan pada geometri sungai dibagian hilir bendung maka diperlukan bangunan untuk menstabilkan aliran air, oleh sebab itu diperlukan bangunan peredam energi. Tipe peredam energi yang paling sering digunakan adalah kolam olak dan *baffle blocks*. *Baffle blocks* berfungsi untuk

menimbulkan loncatan hidraulik dan mereduksi kecepatan aliran. Bentuk dan konfigurasi susunan *baffle blocks* yang paling efektif dalam meredam energi dapat ditinjau dari besarnya penurunan energi dan kecepatan air yang terjadi. Maksud pembuatan bangunan ini yaitu untuk mengurangi tekanan air ke atas pada bagian bendung sehingga kerusakan bangunan dapat dicegah.

3.2. Aliran Subkritis, Kritis, dan Superkritis

Aliran dikatakan kritis apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang gravitasi dengan amplitude kecil. Gelombang gravitasi dapat dibangkitkan dengan murbah kedalaman. Jika kecepatan aliran lebih kecil dari pada kecepatan kritis, maka alirannya disebut subkritis, dan jika kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan kritis, alirannya disebut superkritis.

Parameter yang dapat menentukan ketiga jenis aliran tersebut adalah hubungan antara gaya gravitasi dan gaya inersia, yang dinyatakan dengan bilangan Froude (Fr). Untuk berbentuk persegi, bilangan Froude didefinisikan sebagai berikut:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (3.1)$$

Dengan V = kecepatan aliran (m/s)

H = kedalaman aliran (m)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

$\sqrt{g \cdot h}$ = kecepatan gelombang dangkal

Menurut Triatmodjo (2013), penggolongan jenis lairan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan di atas adalah sebagai berikut:

- a. Aliran subkritis, terjadi apabila $Fr < 1$
- b. Aliran super kritis, terjadi apabila $Fr > 1$, dan
- c. Aliran kritis, terjadi apabila $Fr = 1$

3.3. Hukum Konservasi

Pada sub bab berikut akan dibahas konservasi massa. Pembahasan dibatasi pada aliran satu dimensi, kecepatan aliran hanya ke arah arus (memanjang saluran).

3.3.1. Konservasi Massa (Persamaan Kontinuitas)

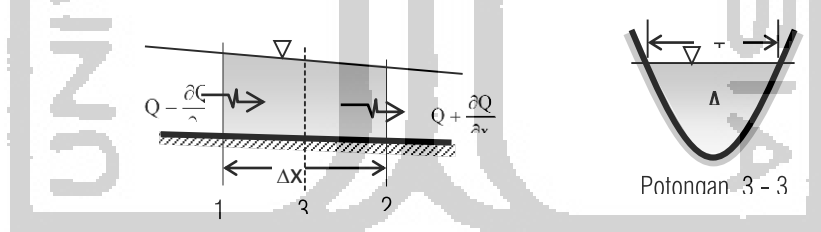
Menurut Triadmodjo (2013), apabila zat tak kompresibel mengalir secara kontiniu melalui pipa atau saluran terbuka, dengan tampang aliran konstan ataupun tidak konstan, maka volume zat cair yang lewat tiap satuan waktu adalah sama di semua tampang. Kondisi seperti ini dapat disebut dengan hokum kontinuitas aliran zat cair.

Dilihat pada Gambar 3.7. Pada saluran tersebut tidak terjadi aliran masuk atau keluar menembus dinding saluran, dan aliran adalah permanen. Apabila debit yang lewat pada tampang potongan 3-3 besarnya sama dengan Q dan mempunyai kedalaman aliran h pada Δt , maka besarnya aliran netto yang lewat pada pias tersebut selama waktu Δt dapat didefenisikan sebagai berikut

$$\left\{ \left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{2} \right) - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{2} \right) \right\} \Delta t = - \frac{\partial Q}{\partial x} \Delta x \Delta t \quad (3.2)$$

Apabila luas penampang di potongan 1-1 adalah A dengan lebar muka air T , maka jumlah pertambahan volume pada pias tersebut selama Δt adalah:

$$\frac{\partial}{\partial t} (A \cdot \Delta x) \cdot \Delta t \quad (3.3)$$



Gambar 3.7 Kontinuitas aliran dalam suatu pias

(sumber: Buku ajar hidraulika)

Prinsip kontinuitas menyatakan bahwa jumlah pertambahan volume sama dengan besarnya aliran netto yang lewat pada pias tersebut, sehingga dengan menyamakan persamaan (3.3) dan (3.4) di dapat:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (3.4)$$

Pada aliran tetap (*steady*) luas tampang basah tidak berubah selama Δt , sehingga integrasi persamaan (3.5) menghasilkan

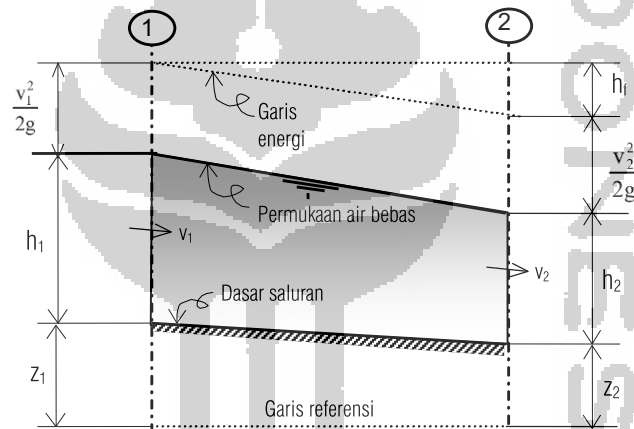
$Q = \text{konstan}$, atau

$$Q_1 = Q_2 \rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (3.5)$$

3.3.2. Konservasi Energi

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa jumlah energi air dari setiap aliran yang melalui suatu penampang saluran, dapat dinyatakan sebagai jumlah fungsi air, tinggi tekanan dan tinggi kecepatan.

$$H = z + d \cos \theta + \frac{v^2}{2g} \quad (3.6)$$



Gambar 3.8 Kontinuitas aliran dalam suatu pias

Menurut prinsip kekekalan energi, jumlah fungsi energi pada penampang 1 di hulu akan sama dengan jumlah fungsi energi pada penampang 2 di hilir dan fungsi h_f diantara kedua penampang tersebut.

$$z_1 + d_1 \cos \theta + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + d_2 \cos \theta + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_f \quad (3.7)$$

Untuk saluran yang kemiringannya kecil $\theta \approx 0$, persamaan (3.8) menjadi :

$$z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_f \quad (3.8)$$

dimana :

z = fungsi titik diatas garis referensi

h = fungsi tekanan di suatu titik

- v = kecepatan aliran
 g = gaya gravitasi bumi
 h_f = kehilangan energi primer

3.4. Gerusan

Gerusan merupakan suatu fenomena alam yang disebabkan oleh erosi yang disebabkan oleh aliran air pada dasar dan tebing sungai. Neil (1937) dalam Fitria, N (2014) mengatakan gerusan adalah penurunan dasar sungai yang disebabkan terjadinya erosi di bawah elevasi permukaan alami atau datum yang diasumsikan. Gerusan adalah suatu proses keadaan sungai semakin dalam karena interaksi antara aliran dengan material dasar sungai (legono, 1990). Perubahan pola aliran yang melewati suatu penampang sungai sehingga partikel-partikel dasar sungai akan terangkut dan ditransportasikan dari daerah asalnya selapis demi selapis dan hal ini terjadi terus menerus sampai menjadi keseimbangan dasar sungai yang baru.

Raudkivi dan Eltema (1982) dalam Abdurrosyid, J. dkk (2009) mengatakan bahwa gerusan dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu gerusan secara umum (*general scour*) yang diakibatkan adanya energy dari aliran, gerusan terlokalisir (*localized scour / constriction scour*) yang diakibatkan oleh penyempitan alur sungai, dan gerusan local (*local scour*) yang terjadi karena pola aliran lokal di sekitar bangunan sungai.

Ketiga tipe ini dapat terjadi bersamaan namun pada lokasi yang berbeda. Gerusan terlokalisir dan gerusan lokal selanjutnya dapat dibedakan menjadi dua kondisi, yaitu:

1. Kondisi gerusan dengan air jernih (*clear water scour*), terjadi ketika material dasar di hulu bangunan dalam keadaan diam (tidak ada gerakan material dasar).
2. Kondisi gerusan dengan air tidak jernih (*live bed scour*), terjadi disertai adanya angkutan sedimen dari material dasar, terjadi ketika kondisi aliran dalam saluran menyebabkan material dasar bergerak

Menurut Wiyono H.S dkk, 2006, parameter yang mempengaruhi pada gerusan, meliputi:

1. Kondisi fluida, yaitu:
 - a. Kerapatan (ρ)
 - b. Kekentalan / viskositas kinematis (ν)
 - c. Gravitasi (g)
 - d. Kecepatan (V)
 - e. Kedalaman aliran (d_0)
2. Kondisi dasar sungai, yaitu:
 - a. Diameter butiran sedimen (D_s)
 - b. Kerapatan massa (ρ_s)
 - c. Distribusi butiran
 - d. Bentuk butiran

