

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah salah satu aliran yang mana tidak semua dinding saluran bergesekan dengan fluida yang mengalir, oleh karena itu terdapat ruang bebas dimana fluida dapat dipengaruhi oleh tekanan udara. Saluran terbuka menurut asalnya dapat dibedakan menjadi saluran alam (*natural channels*) dan saluran buatan (*artificial channels*).

Menurut Triatmodjo (2013) pada saat menganalisis saluran terbuka lebih sulit daripada saluran tertutup. Hal ini dikarenakan pada saluran tertutup variabel seperti, tampang lintang aliran dipengaruhi oleh dimensi saluran tertutup dan kekasaran disepanjang saluran tertutup adalah seragam. Beda halnya yang terjadi pada saluran terbuka contohnya sungai, variabel aliran tidak teratur baik terhadap ruang dan waktu. Untuk saluran buatan seperti; seperti saluran irigasi, drainase, dll; karakteristik aliran di sepanjang saluran adalah seragam. Analisis aliran jauh lebih sederhana dibandingkan dengan aliran yang melalui saluran alam.

Saluran alam adalah saluran yang terbentuk secara alami dan tidak mengalami perubahan yang berarti karena aktifitas manusia. Saluran-saluran yang termasuk dalam jenis ini adalah saluran-saluran kecil, sungai, dan muara sungai, bahkan aliran air dibawah tanah yang mengalirkan air dengan permukaan bebas juga digolongkan dalam jenis saluran terbuka alamiah. Karena saluran ini terbentuk oleh alam, maka bentuk penampang maupun geometri saluran berubah-ubah mulai dari bentuk parabola sampai trapesium, sesuai dengan kondisi geografis maupun geologis lingkungan dimana saluran tersebut terbentuk. Sehingga sifat-sifat hidrolis saluran pada alam pada umumnya tidak beraturan sehingga seringkali harus diasumsi.

Saluran buatan adalah semua saluran yang dibuat oleh manusia untuk menunjang aktifitas kehidupan manusia sehari-hari seperti saluran irigasi, saluran drainase perumahan maupun perkotaan, kanal banjir dan lain-lain. Saluran buatan biasanya dibuat dengan perencanaan yang matang baik itu bentuk penampang yang

meliputi bentuk persegi panjang, segi tiga, trapesium, lingkaran dan parabola, serta dengan kemiringan dasar saluran yang diatur sedemikian rupa. Sehingga sifat-sifat saluran buatan pada umumnya bersifat teratur.

3.2 Persamaan Kontinuitas

Menurut Triatmodjo (1992) jika zat cair tidak kompresibel mengalir secara kontinyu melalui saluran tertutup ataupun saluran terbuka, dengan menggonkan tampang aliran konstan atau tidak konstan, maka volume zat cair yang mengalir tiap satuan waktu adalah sama pada semua tampang. Kejadian ini disebut dengan hukum kontinyuitas aliran zat cair.

Pada kasus tabung aliran seperti yang ditunjukkan di Gambar 3.1 , untuk aliran satu dimensi dan mantap, maka kecepatan rata-rata dan tampang lintang pada titik 1 dan titik 2 adalah v_1, dA_1 , dan v_2, dA_2 .

Volume zat cair yang masuk melalui tampang 1 tiap satuan waktu : $v_1 dA_1$

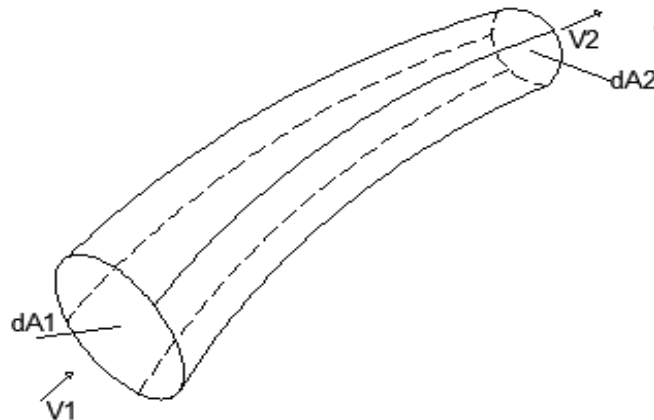
Volume zat cair yang keluar dari tampang 2 tiap satuan waktu : $v_2 dA_2$

Oleh karena tidak ada zat cair yang hilang di dalam tabung aliran, maka. Persamaannya dapat dilihat pada persamaan 3.1 dibawah ini.

$$v_1 dA_1 = v_2 dA_2 \quad (3.1)$$

Integrasi pada persamaan tersebut di seluruh tampang aliran, maka didapatkan volume zat cair yang melalui aliran, sehingga persamaan 3.1 menjadi persamaan 3.2 seperti berikut ini.

$$v_1 \int_{A_1} dA_1 = v_2 \int_{A_2} dA_2 \quad (3.2)$$



Gambar 3.1 Tabung aliran untuk menurunkan persamaan kontinuitas

(Sumber: Triatmodjo, 2013)

Sehingga dari persamaan 3.2 didapat seperti persamaan 3.3 atau 3.4 sebagai berikut ini.

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (3.3)$$

Atau

$$Q = Av = \text{konstan} \quad (3.4)$$

Keterangan:

Q = volume fluida yang melalui setiapampang tiap satuan waktu (m^3/dt)

A = luas penampang melintang tegak lurus arah aliran (m^2)

v = kecepatan rata-rata aliran (m/detik)

3.3 Persamaan Energi

Menurut Triatmodjo (2013) bahwa penurunan persamaan Bernoulli untuk aliran sepanjang garis arus didasarkan pada hukum Newton II tentang gerak ($F=Ma$). Persamaan ini diturunkan berdasarkan anggapan sebagai berikut.

1. Zat cair adalah ideal, jadi tidak mempunyai kekentalan (kehilangan energi akibat gesekan adalah nol).
2. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan (rapat massa zat cair adalah konstantan).

3. Aliran adalah kontinyu dan sepanjang garis arus.
4. Kecepatan aliran adalah merata dalam suatu penampang.
5. Gaya yang bekerja hanya gaya berat dan tekanan.

Energi pada suatu titik aliran mantap adalah sama dengan energi pada titik lain yang ditinjau panjang aliran. Hal ini berlaku selama tidak ada energi yang ditambahkan atau diambil. Kemudian atas dasar persamaan energi, Bernoulli menemukan persamaan yang sekarang dikenal dengan persamaan Bernoulli, adapun persamaannya dapat dilihat pada persamaan 3.7 seperti berikut ini.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.5)$$

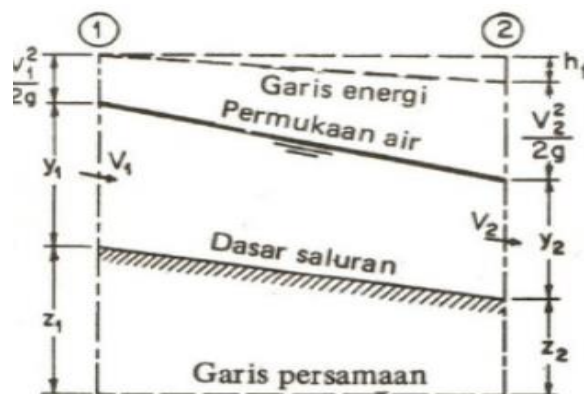
Keterangan:

Z = elevasi

$\frac{P}{\gamma}$ = tinggi tekanan

$\frac{V^2}{2g}$ = tinggi kecepatan

Persamaan dikenal dengan persamaan Bernoulli untuk aliran mantap satu dimensi, zat cair ideal dan tak kompresibel. Persamaan tersebut merupakan bentuk matematis dari kekentalan energi di dalam aliran zat cair ideal. Garis tenaga dan garis tekanan pada zat cair ideal dapat dilihat pada Gambar 3.2 seperti berikut ini.



Gambar 3.2 Garis tenaga dan tekanan pada zat cair ideal

(Sumber: Triatmodjo, 2013)

Pada zat cair ideal, garis tenaga mempunyai tinggi tetap yang menunjukkan jumlah dari tinggi elevasi, tinggi tekanan dan tinggi kecepatan di kedua titik adalah sama. Garis tekanan menunjukkan jumlah dari tinggi elevasi dan tinggi tekanan $z_1 + \frac{P_1}{\gamma}$ yang bisa naik atau turun pada arah aliran dan tergantung pada luas tampang aliran sedangkan garis tenaga pada zat cair ideal adalah konstan.

3.4 Debit Aliran

Debit aliran adalah jumlah zat cair yang mengalir melalui tampang lintang aliran tiap satu satuan waktu dan diberi notasi Q . Debit aliran biasanya diukur dalam zat cair tiap satuan waktu, sehingga satuannya adalah meter kubik perdetik (m^3/d) atau satuan yang lain (liter/detik, dsb).

Debit teoritis diturunkan dari persamaan Bernoulli dapat dilihat pada Persamaan 3.6 apabila kecepatan awal tidak diperhitungkan sedangkan debit nyata data yang digunakan untuk mencari debit nyata didapatkan dari hasil percobaan di Laboratorium dengan menggunakan Persamaan 3.7.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.6)$$

$$0 + h_1 + 0 = 0 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_1 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_2 = \sqrt{2gh}$$

$$Q = AV$$

$$Q = \int v \cdot dA$$

$$Q = \int_0^H \sqrt{2gh} \cdot b \cdot dh$$

$$Q = b\sqrt{2g} \int_0^H h^{1/2} \cdot dh$$

$$Q = \frac{2}{3} b\sqrt{2g} h^{3/2} \Big|_0^H$$

$$Q = b \times \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} \times H^{1.5}$$

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3.7)$$

Keterangan:

Q = debit

b = lebar

g = gravitasi

H = tinggi energi

V = volume air tertampung

t = waktu air tertampung

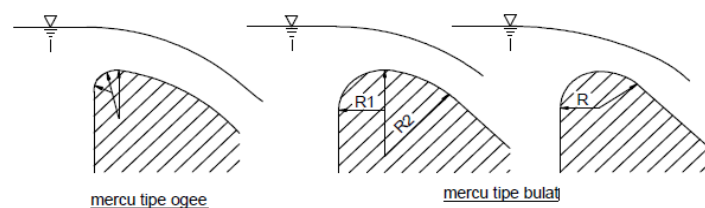
3.5 Definisi, Fungsi, dan Jenis Mercu

Menurut Mawardi, dkk (2010) mercu bendung adalah bagian teratas tubuh bendung dimana aliran dari udik dapat melimpah ke hilir. Fungsinya sebagai penentu tinggi muka air minimum di sungai bagian udik bendung; sebagai pengempang sungai dan sebagai pelimpah aliran sungai.

Dikutip dari Mawardi, dkk (2010) bentuk mercu bendung tetap, yaitu.

1. Mercu bulat dengan satu jari pembulatan,
2. Mercu bulat dengan dua jari pembulatan,
3. Mercu tipe ogee, SAF, dan
4. Mercu ambang lebar.

Pada panduan KP 02 mercu bendung yang paling sering digunakan di Indonesia adalah mercu bulat, mercu bulat variasi, dan mercu ogee. Bentuk dari mercu tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Bentuk mercu bulat, mercu bulat variasi, dan ogee

(Sumber: Panduan KP-02, 2010)

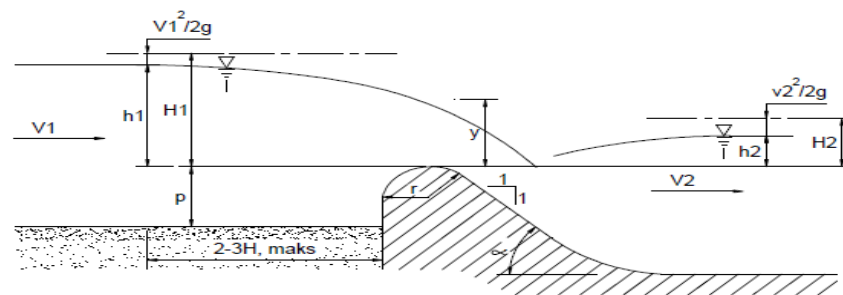
3.6 Perencanaan Mercu Bendung

Perencanaan mercu bendung diambil dari buku panduan KP 02 tentang bangunan utama yang membahas tentang perencanaan mercu bulat dan mercu ogee seperti berikut ini.

3.6.1 Mercu Bulat

Menurut KP 02 2010 bendung mercu bulat memiliki harga koefisien debit jauh lebih tinggi (44%) dibandingkan dengan koefisien ambang lebar dikarenakan oleh lengkung *streamline* dan tekanan negatif pada mercu.

Dikutip dari KP-02-2010 pada bendung bulat dengan dua jari-jari (R_2) dapat dilihat pada Gambar 3.3, jari-jari yang berpengaruh pada harga koefisien debit adalah jari-jari hilir.



Gambar 3.4 Bendung dengan mercu bulat

(Sumber: KP 02, 2010)

Persamaan tinggi energi debit untuk bendung dapat dilihat pada persamaan 3.7 seperti berikut ini:

$$Q = C_d 2/3 \sqrt{2/3 g b H_1^{1.5}} \quad (3.7)$$

Dimana:

Q = debit ($m^3/detik$)

C_d = koefisien debit ($C_d = C_0 C_1 C_2$)

g = percepatan gravitasi ($m/detik^2$)

b = Panjang mercu (m)

H_1 = tinggi peluapan (tinggi energi) (m)

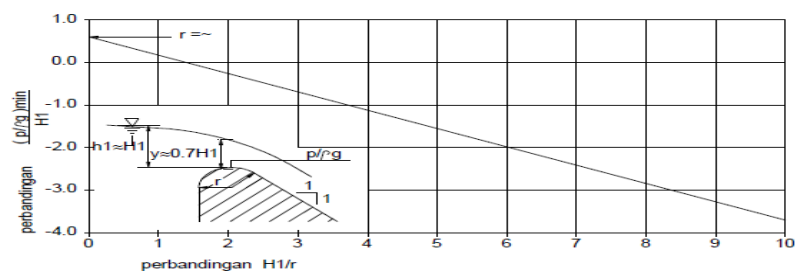
Koefisien debit C_d merupakan hasil dari:

C_0 yang adalah fungsi H_1/r seperti pada Gambar 3.6,

C_1 yang adalah fungsi p/H_1 seperti pada Gambar 3.7, dan

C_2 yang adalah fungsi p/H_1 dan kemiringan muka hulu bendung lihat pada Gambar 3.8.

C_0 mempunyai harga maksimum 1,49 jika H_1/r lebih dari 5,0 seperti diperlihatkan pada Gambar 3.6.

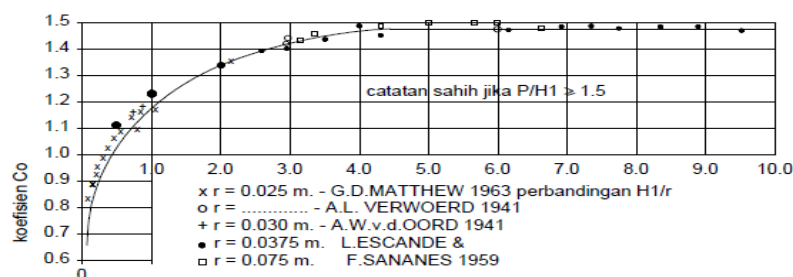


Gambar 3.5 Tekanan pada mercu bendung bulat sebagai fungsi h_1/r

(Sumber: KP 02, 1986)

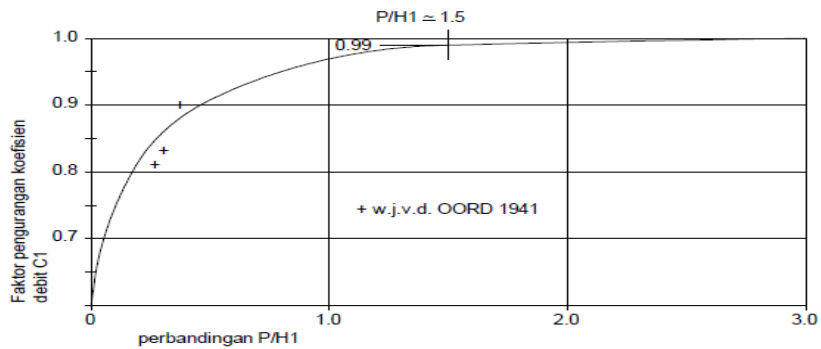
Harga-harga C_0 pada Gambar 3.6 valid apabila perbandingan antara tinggi bendung dengan tinggi energi lebih besar atau sama dengan 1,5 ($p/h_1 \geq 1,5$).

Pada saat perencanaan bendung, tinggi bendung dapat diambil setengah dari jarak mercu hingga dasar sungai rata-rata sebelum dibuat. Apabila nilai yang didapatkan kurang dari 1,5, maka Gambar 3.7 dapat dipakai untuk menemukan faktor C_1 .



Gambar 3.6 Harga-harga koefisien C_0 untuk bendung ambang bulat sebagai fungsi perbandingan H_1/r

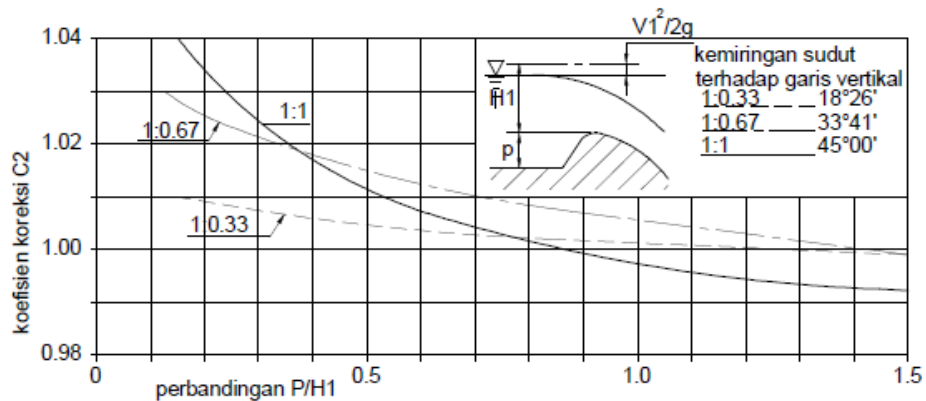
(Sumber: KP 02, 2010)



Gambar 3.7 Koefisien C_1 sebagai fungsi perbandingan p/H_1

(Sumber: KP 02, 2010)

Nilai koefisien koreksi untuk pengaruh kemiringan muka bendung bagian hulu terhadap debit, C_2 dapat diandaikan kurang lebih dengan nilai faktor koreksi untuk bentuk-bentuk mercu tipe Ogee yang dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Harga-harga koefisien C_2 untuk bendung mercu tipe Ogee dengan muka hulu melengkung

(Sumber: KP 02, 2010)

3.8 Koefisien Debit

Koefisien debit (C_d) adalah suatu koefisien untuk mengkoreksi debit nyata dari suatu teori yang diturunkan dari persamaan Bernoulli untuk zat cair ideal. Padahal debit nyata itu adalah untuk zat cair rill, maka untuk mencari debit nyata adalah debit teori dikalikan suatu koreksi yaitu koefisien debit (C_d). Persamaan debit nyata dapat dilihat pada Persamaan 3.8 seperti berikut ini.

$$Q_{nyata} = Cd \times Q_{teori} \quad (3.8)$$

Sehingga, koefisien debit tersebut dapat di rumuskan pada Persamaan 3.9 seperti berikut ini.

$$Cd = \frac{Q_{nyata}}{Q_{teori}} \quad (3.9)$$

Keterangan:

- Cd = koefisien debit
 Qnyata = debit nyata (m³/dt)
 Qteoritis = debit teoritis (m³/dt)

3.9 Analisis Regresi Linier Sederhana

Analisis regresi linier sederhana merupakan hubungan linier antara variabel independen (x) terhadap variabel dependen (y). Analisis ini digunakan untuk mengetahui arah dari hubungan antara variabel independen dan variabel dependen apakah positif atau negatif. Analisis ini juga dapat memprediksikan nilai dari variabel dependen apabila variabel independen mengalami kenaikan ataupun penurunan. Persamaan yang didapatkan dari regresi linier sederhana dapat dilihat pada Persamaan 3.10 berikut ini.

$$y = mx + c \quad (3.10)$$

Keterangan:

- y = variabel dependen,
 m = angka arah atau koefisien regresi yang menunjukkan angka peningkatan atau variabel dependen yang didasarkan pada variabel independen. Bila *m* memiliki nilai positif (+), maka grafik naik, dan apabila *m* memiliki nilai negatif (-), maka terjadi penurunan grafik,
 c = harga dari y apabila *x*=0, dan
 x = subjek pada variabel independen

Untuk menentukan nilai harga m dan c dapat dihitung dengan menggunakan metode kuadrat terkecil, untuk menentukan koefisien persamaan m dan c dari jumlah pangkat dua (kuadrat) antara titik-titik dengan garis regresi yang dicari dipakai nilai terkecil. Berikut persamaan yang dipakai untuk menentukan nilai m dan c .

$$c = \frac{\bar{\Sigma}y - b.\bar{\Sigma}x}{n}$$

(3.11)

dan

$$m = \frac{n.\bar{\Sigma}xy - \bar{\Sigma}x.\bar{\Sigma}y}{\bar{\Sigma}x^2 - (\bar{\Sigma}x)^2}$$

(3.12)

Keterangan:

x = variabel x

y = variabel y

n = jumlah variabel

3.9.1 Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi merupakan nilai yang memperlihatkan kuat/tidaknya hubungan linier antara dua variabel. Koefisien korelasi biasa dinotasikan menggunakan huruf r yang mempunyai nilai antara -1 sampai dengan +1. apabila nilai r mendekati nilai -1 atau +1 ini berarti kedua variabel tersebut mempunyai hubungan yang kuat dan nilai r yang mendekati 0 menunjukkan lemahnya hubungan antara dua variabel tersebut. Tanda positif (+) dan negatif (-) merupakan arah hubungan antara kedua variabel. Jika mempunyai nilai positif (+), maka kedua variabel memiliki hubungan yang searah, yang berarti peningkatan nilai x disertai peningkatan nilai y , sedangkan sebaliknya jika mempunyai nilai negatif (-), maka kedua variabel tersebut memiliki hubungan yang berlawanan, yang berarti

peningkatan nilai x disertai penurunan nilai y . Berikut perhitungan nilai koefisien korelasi menggunakan rumus sebagai berikut.

$$r = \sqrt{r^2} \quad (3.13)$$

Keterangan:

r = koefisien korelasi

3.9.2 Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi dinotasikan dengan lambang r^2 yang merupakan kuadrat dari koefisien korelasi. Koefisien determinasi diperuntukkan untuk menganalisis apakah variabel yang diduga (y) dipengaruhi dengan variabel (x) atau seberapa besar variabel independen mempengaruhi variabel dependen. Berikut ini rumusan koefisien determinasi.

$$r^2 = \frac{(n.\bar{\Sigma}xy - \bar{\Sigma}x.\bar{\Sigma}y)^2}{n.(\bar{\Sigma}x^2) - (\bar{\Sigma}x)^2 \times n.(\bar{\Sigma}y^2) - (\bar{\Sigma}y)^2} \quad (3.14)$$

Keterangan:

r = koefisien korelasi

x = variabel x

y = variabel y

n = jumlah variabel