

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Saluran

Saluran adalah suatu sarana untuk mengalirkan fluida dari suatu tempat ketempat yang lain, saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas disebut saluran terbuka (*open channel*) (Sartika, 2009). Aliran dalam saluran terbuka maupun saluran tertutup yang mempunyai permukaan bebas disebut aliran permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*) (Suripin, 2004: 119). Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi berbagai tipe tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman dan/atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, maka aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*steady*) dan tidak permanen (*unsteady*), sedangkan fungsi ruang, maka aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non-uniform*). Ditinjau dari mekanika aliran, terdapat dua macam aliran yaitu aliran saluran tertutup dan aliran saluran terbuka. Dalam aliran saluran terbuka memiliki aliran permukaan bebas dengan tekanan sama yaitu tekanan atmosfer.

Perbedaan prinsipnya adalah pada keberadaan permukaan aliran. Jika aliran saluran terbuka mempunyai permukaan yang bebas, sehingga air bebas bentuknya lalu aliran saluran terbuka mempunyai permukaan yang terhubung dengan atmosfer. Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, ada yang bentuknya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk-bentuk tersebut.

Pada saluran terbuka dapat diklasifikasikan berdasarkan asal-usulnya yaitu saluran alam (*natural channel*) dan saluran buatan (*artificial channel*), saluran alam yaitu saluran yang terbentuk secara alami tanpa campur tangan manusia, sedangkan saluran buatan yaitu saluran yang dibuat dan direncanakan oleh manusia sesuai dengan manfaatnya.

2.1.1 Ukuran dan bentuk saluran

Pada penelitian saluran yang di tinjau, saluran ini berbentuk persegi. Berikut rumus untuk saluran yang berpenampang persegi :

Luas penampang:

$$A = B \times H \quad (2.1)$$

Keliling basah:

$$P = B + 2H \quad (2.2)$$

Jari-jari hidraulis:

$$R_h = \frac{A}{P} \quad (2.3)$$

Dengan:

A = Luas penampang [m²]

P = Keliling basah [m]

B = Lebar [m]

H = Tinggi [m]

R_h = Jari-jari hidraulis

Berdasarkan dari rumus diatas, ukuran saluran sangat mempengaruhi untuk besar kecilnya luas penampang yang kemudian luas penampang digunakan untuk distribusi kecepatan aliran yang mana semakin besar luas penampang maka relatif semakin kecil kecepatannya. Pada kasus saluran terbuka terdapat bentuk ketidak teraturan seperti adanya cekungan dan gundukan, lobang dan tonjoloan di dasar saluran. Ketidak teraturan pada saluran terbuka ini menandakan adanya kekasaran yang menyebabkan perubahan terhadap kecepatan aliran. Cara untuk mendapatkan lebar dan tinggi penampang bisa dengan pengukuran di lapangan menggunakan meteran, lalu cara mendapatkan luas dan keliling basah penampang bisa mengikuti seperti rumus diatas.

2.1.2 Kecepatan aliran

Faktor penting dalam penelitian ini adalah kecepatan aliran (v). Kecepatan aliran merupakan waktu yang dibutuhkan per jarak yang ditempuh oleh suatu partikel

untuk berpindah dari suatu tempat ke tempat yang lainnya (Triyanti Anasiru, 2005). Kecepatan aliran pada setiap penampang saluran terbuka mempunyai bentuk atau profil berupa kurva distribusi kecepatan. Pada penelitian ini untuk mendapatkan kecepatan aliran pada saluran terbuka yaitu pengukuran dengan alat *current meter* dan dengan metode *point integrated sampling*, dimana metode ini melakukan pengukuran kecepatan pada beberapa titik dan dari titik tersebut diukur kecepatannya pada kedalaman aliran tertentu. Titik yang diukur yaitu pada kedalaman 0,2h, 0,6h, dan 0,8h. lalu dari data kecepatan tersebut mendapatkan kecepatan rerata dengan menggunakan rumus:

$$\bar{v} = \left(\frac{v_{0,2} + v_{0,8}}{2} + v_{0,6} \right) \times \frac{1}{2} \quad (2.4)$$

Dengan:

\bar{v} = Kecepatan rata-rata [m/s]

$v_{0,2}$ = Kecepatan pada kedalaman 0,2 h [m/s]

$v_{0,6}$ = Kecepatan pada kedalaman 0,6 h [m/s]

$v_{0,8}$ = Kecepatan pada kedalaman 0,8 h [m/s]

2.1.3 Kemiringan saluran

Salah satu faktor dari kecepatan saluran dipengaruhi kemiringannya. Kemiringan juga menjadi salah satu variabel hambatan aliran. Pada saluran terbuka kemiringan dinotasikan dengan notasi s yang merupakan beda ketinggian antara titik awal dan titik akhir per panjang saluran (Hickin, 1995). Semakin besar nilai kemiringan suatu saluran maka semakin besar kecepatan saluran, semakin kecil nilai kemiringan suatu saluran maka semakin kecil kecepatan saluran. Kemiringan saluran diukur menggunakan alat *Waterpass*.

Rumus yang digunakan dalam mencari kemiringan saluran adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{\text{Beda tinggi titik A dan B}}{\text{Jarak titik A ke B}} \times 100 \quad (2.5)$$

$$S = \frac{I}{100} \quad (2.6)$$

Dengan :

I = kemiringan saluran [%]

S = kemiringan saluran [-]

2.1.4 Viskositas

Berikut adalah tabel viskositas kinematik berdasarkan temperatur aliran :

Tabel 2.1 Viskositas Kinematik (Air)

Temperatur [°C]	Viskositas Kinematik [10^{-6} m ² /s]
15	1,134
16	1,106
17	1,079
18	1,055
19	1,028
20	1,004
21	0,980
22	0,957
23	0,935
24	0,914
25	0,894
26	0,875
27	0,856
28	0,837
29	0,812
30	0,801

(Sumber : *GUNT Manual*)

Viskositas adalah ukuran yang menyatakan kekentalan suatu fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan dalam fluida. Semakin besar viskositas fluida, maka semakin sulit suatu fluida untuk mengalir dan juga menunjukkan semakin sulit

suatu benda bergerak dalam fluida tersebut (Ariyanti dan Agus, 2010). Viskositas terjadi terutama karena adanya interaksi antara molekul-molekul cairan. Perbandingan antara viskositas dinamik dan kerapatan disebut viskositas kinematik. Viskositas kinematik dari cairan sangat dipengaruhi oleh temperatur. Oleh karena itu viskositas kinematik dalam hubungannya dengan temperatur dapat dinyatakan dalam bentuk tabel 2.1.

2.1.5 Kekasaran penampang

Chow (1997) menegaskan, “suatu saluran tidak harus memiliki satu nilai kekasaran saja untuk setiap keadaan. Sebenarnya nilai kekasaran sangat bervariasi dan tergantung dari berbagai faktor, antara lain: kekasaran permukaan, ketidak teraturannya saluran, ukuran, bentuk saluran dan tinggi muka air serta debit aliran”. Kekasaran pada saluran mempunyai arah yang berlawanan dengan arah aliran sehingga aliran tertahan dengan kekasaran penampang. Pada kekasaran penampang ditentukan dengan melalui koefisien geseknya. Koefisien gesek pada saluran terjadi karena adanya gesekan antara dinding saluran dengan aliran. Koefisien gesek pada saluran terbuka dapat dihitung dengan persamaan kehilangan energi yang dibuat oleh Darcy-Weisbach, namun karena persamaan tersebut umumnya digunakan untuk saluran tertutup maka perlu modifikasi lebih lanjut. pada saluran terbuka seringnya menghitung koefisien gesek dengan asumsi berdasarkan kekasaran Manning dan diameter pipa sama dengan empat kali jari-jari hidraulis. Maka koefisien gesek dapat diperoleh dari rumus Darcy-Weisbach yang dimodifikasi, kekasaran Manning dengan perbandingan antara kecepatan aliran (v) dengan koefisien Manning (n), dan bilangan Reynolds.

2.2 Koefisien kekasaran Manning

Pada **Tabel 2.2** dibawah nilai kekasaran salurannya beragam yaitu dengan berdasarkan material salurannya. Sebagian faktor yang mempengaruhi koefisien kekasaran Manning baik saluran buatan maupun alam yaitu :

(a) Kekasaran permukaan

Kekasaran ini ditandai dengan ukuran bentuk butiran bahan yang membentuk luas tampang basah dan menimbulkan efek hambatan terhadap aliran.

(b) Tetumbuhan

Tetumbuhan dapat digolongkan dalam jenis kekasaran permukaan, tetapi hal ini juga memperkecil kapasitas saluran dan menghambat aliran.

(c) Pengendapan dan penggerusan

Secara umum pengendapan dapat mengubah saluran yang amat sangat tidak beraturan menjadi cukup beraturan sehingga memperkecil n , sedang penggerusan dapat membuat saluran tidak beraturan sehingga memperbesar n .

(d) Hambatan

Hambatan balok, sekat, pilar jembatan dan sejenisnya cenderung memperbesar n .

(e) Debit aliran

Debit aliran yang kecil akan lebih nilai n daripada debit yang besar.

(f) Perubahan Musim

Musim ini mempengaruhi tetumbuhan pada saluran. Pada musim semi tetumbuhan akan banyak sehingga nilai n akan besar.

Koefisien kekasaran manning juga sangat mempengaruhi dalam mencari kecepatan untuk salah satu rumus empiris yaitu rumus manning

$$v = \frac{R_h^{\frac{2}{3}} s^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (2.7)$$

Dengan:

v = Kecepatan aliran [m/s]

R_h = Jari-jari hidraulis [m]

s = Kemiringan [-]

n = Koefisien kekasaran Manning [-]

Tabel 2.2 Koefisien Kekasaran Manning

Bahan	Koefisien Manning
	<i>n</i>
Besi Tulang Dilapis	0.014
Kaca	0.010
Saluran Beton	0.013
Bata Dilapis Mortar	0.015
Pasangan Batu Disemen	0.025
Saluran Tanah Bersih	0.022
Saluran Tanah Bersih	0.030
Saluran Dengan Dasar Batu dan Tebing Rumput	0.040
Saluran Pada Galian Batu Padas	0.040

(Sumber: Bambang Triatmodjo,1993)

2.3 Darcy-Weisbach

Persamaan Darcy – Weisbach secara teoritis tepat digunakan untuk semua jenis aliran dan semua jenis *liquid*. Sejarahnya pada tahun 1845 Weisbach melakukan percobaan pada pipa silinder di Sembilan tahun kemudiannya atau pada tahun 1854 Darcy juga melakukan hal yang sama dan didapatkan bahwa kehilangan energi ΔH pada pipa terjadi beberapa sebab, yaitu $\frac{v^2}{2g}$, L (panjang pipa), dan D (diameter pipa) (Hickin, 1995).

$$\Delta H = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (2.8)$$

Dengan :

ΔH = Kehilangan energi [m],

f = Koefisien gesek [-],

L = Panjang pipa [m],

D = Diameter pipa [m],

v = Kecepatan aliran [m/s],

g = Percepatan gravitasi [m/s].

Persamaan diatas ialah persamaan Darcy-Weisbach yang diketahui banyak orang pada umumnya menghitung ΔH (kehilangan energi) pada saluran tertutup. Dari persamaan diatas jika kita mencari f (koefisien gesek) maka didapat :

$$f = D \times \frac{\Delta H}{L} \times \frac{2g}{v^2} \quad (2.9)$$

Dengan :

f = Koefisien gesek [-],

D = Diameter pipa [m],

ΔH = Kehilangan energi [m],

L = Panjang pipa [m],

g = Percepatan gravitasi [m/s²],

v = Kecepatan aliran [m/s].

Penurunan rumus koefisien gesek oleh Hickin menghasilkan bahwa $\frac{\Delta H}{L}$ pada saluran tertutup nilainya sama dengan kemiringan saluran (s) pada saluran terbuka dan diameter pipa (D) pada saluran tertutup nilainya disama dengankan jari-jari hidraulis (Rh) pada saluran terbuka, nilai D yang disama dengankan terhadap jari-jari hidraulis didapatkan dari penurunan rumus pada saluran tertutup untuk pipa bulat diameter (D) yang dilakukan oleh Hickin, dan mendapatkan hasil bahwa $Rh = \frac{A}{P} = \frac{\pi(\frac{D}{2})^2}{\pi D} = \frac{D}{4}$ (Edward J. Hickin, 1995), maka $D = 4Rh$, jika $\frac{\Delta H}{L}$ dan D disubstitusikan dari persamaan (2.9) didapatkan :

$$f = \frac{8Rhsg}{v^2} \quad (2.10)$$

Dengan:

f = Koefisien gesek [-],

Rh = Jari-jari hidraulis [m],

s = Kemiringan [-],

g = Percepatan gravitasi [m/s^2],

v = Kecepatan [m/s].

Jika dilihat dari nilai koefisien kekasaran manning, maka rumus yang di gunakan untuk mencari koefisien gesek bisa dilihat pada persamaan (2.11) (L. B. Leopold, dan M. G. Wolman, 1957)

$$f = \frac{8gn^2}{(1,486 R^{1/6})} \quad (2.11)$$

Dengan:

f = Koefisien gesek [-],

g = Percepatan gravitasi [m/s^2],

n = Koefisien kekasaran Manning [-],

Rh = Jari-jari hidraulis [m].

2.4 Bilangan Reynolds

Osborne Reynolds (1884) melakukan percobaan untuk menunjukkan sifat-sifat aliran laminar dan turbulen. Reynolds menunjukkan bahwa untuk kecepatan aliran yang kecil, zat warna akan mengalir dalam satu garis lurus seperti benang/sumbu pipa. Bila kecepatan bertambah besar, benang warna akan mulai bergelombang & akhirnya pecah/menyebar pada seluru aliran dalam pipa. Reynolds menetapkan bahwa untuk bilangan Reynolds dibawah 2000, aliran pada kondisi tersebut adalah laminar. Untuk aliran transisi berada pada bilangan $2000 < Re < 4000$, disebut juga sebagai bilangan Reynolds kritis. Aliran akan turbulen apabila bilangan Reynolds lebih besar 4000. Pada umumnya tipe aliran melalui saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. (Bambang,2003). Berikut untuk mengetahui Bilangan Reynolds suatu aliran adalah :

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2.12)$$

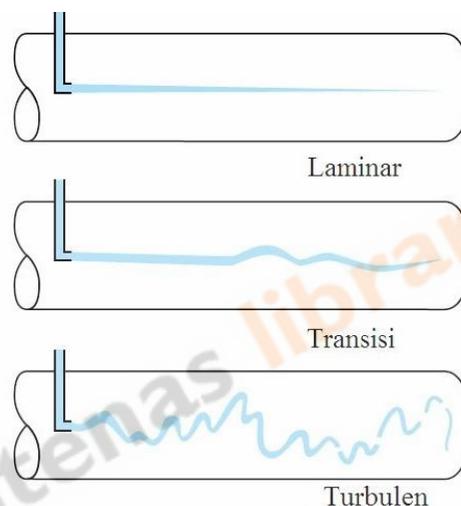
Dimana :

Re : Bilangan Reynolds [-],

v : Kecepatan Aliran [m/s],

D : Diameter dalam pipa [m],

ν : Viskositas kinematic fluida [m^2/s].



Gambar 2. 1 Jenis Aliran

(Sumber: Potter, Merle C dkk, 2011)

2.4.1 Aliran Laminar

Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain. Alirannya relatif mempunyai kecepatan yang rendah. Aliran laminar adalah aliran fluida tanpa arus turbulen (pusaran air). Pada laju aliran rendah, aliran laminar tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran. Aliran laminar mempunyai Bilangan Reynold lebih kecil dari 2000. Rumus faktor gesekan Darcy untuk aliran laminar adalah:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.13)$$

Dengan:

f = Koefisien gesek [-],

Re = Bilangan Reynolds [-].

2.4.2 Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Turbulen banyaknya terjadi di sungai akibat penggerusan sepanjang batas arus air, dan meningkat akibat kekasaran bawah permukaan: sepanjang garis pantai dan laut penyebabnya adalah ombak, tekanan angin permukaan, dan penggerusan arus. sangat mudah dilihat di sungai dengan penampakan pusaran yang kompleks atau dengan boil yang berbenturan dengan permukaan sungai, secara terus menerus. Aliran turbulen mempunyai bilangan reynold yang lebih besar dari 4000. Rumus koefisien gesek untuk aliran turbulen adalah :

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (2.14)$$

Dengan:

f = Koefisien gesek [-],

Re = Bilangan Reynolds [-].

2.4.3 Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan antara aliran laminar dan aliran turbulen. Kondisi aliran transisi yaitu sebagian aliran lancar dan sebagian aliran terganggu.

2.5 Koefisien chezy

Perhitungan untuk aliran melalui saluran terbuka dapat dilakukan dengan menggunakan rumus koefisien chezy. Pada awal tahun 1769 seorang insinyur Perancis bernama Antonie Chezy mengembangkan perumusan kecepatan aliran yang dikenal dengan rumus Chezy yaitu :

$$v = C \sqrt{R_h s} \quad (2.15)$$

Dengan:

v = Kecepatan aliran [m/s]

C = Koefisien chezy [-]

R_h = Jari-jari hidraulis [m]

s = Kemiringan [-]

Seseorang ahli dari Islandia, Robert Manning mengusulkan rumus yang asal usulnya dari persamaan (2.15) dan persamaan (2.7) didapat persamaan :

$$C = \frac{R_h^{\frac{1}{6}}}{n} \quad (2.16)$$

Maka jika mencari nilai n dari rumus diatas bisa dengan persamaan :

$$n = \frac{R_h^{\frac{1}{6}}}{C} \quad (2.17)$$

Dengan:

C = Koefisien chezy [-]

R_h = Jari-jari hidraulis [m]

n = Koefisien kekasaran Manning [-]

Koefisien tersebut tergantung pada bentuk tampang lintang, bahan dinding saluran, dan kecepatan aliran. Dalam penelitian ini akan ditinjau dengan menggunakan rumus Bazin :

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma_B}{\sqrt{R_h}}} \quad (2.18)$$

Dengan γ_B adalah koefisien yang tergantung pada kekasaran dinding. Nilai γ_B untuk beberapa jenis dinding saluran terdapat pada **Tabel 2.3** di bawah ini.

Tabel 2.3 Koefisien Kekasaran Bazin

Jenis Dinding	γ_B
Dinding Sangat Halus	0.06
Dinding Halus (Papan, Batu, Bata)	0.16
Dinding Batu Pecah	0.46
Dinding Tanah Sangat Teratur	0.85
Saluran Tanah Dengan kondisi Biasa	1.30
Saluran Tanah dengan Dasar Batu Pecah Dan Tebing Rumput	1.75

(Sumber: Bambang Triatmodjo, 1993)

Rumus yang digunakan untuk mencari koefisien gesek berdasarkan kekasaran chezy adalah sama dengan berdasarkan kekasaran manning tetapi nilai n dari persamaan (2.11) menjadi nilai n yang ada di persamaan (2.17) maka akan menjadi :

$$f = \frac{8g \left(\frac{R_h^{1/6}}{C} \right)^2}{(1,486 R^{1/6})} \quad (2.19)$$

Jika disederhanakan rumus diatas yaitu akan menjadi persamaan sebagai berikut :

$$f = \frac{8gR_h^{1/6}}{(1,486C^2)} \quad (2.20)$$

Dengan :

f = Koefisien gesek [-]

g = Percepatan gravitasi [m/s²]

R_h = Jari-jari hidraulis [m]

C = Koefisien chezy [-]

2.6 Sampah

Selain terdapat klasifikasinya berdasarkan asal-usulnya, saluran terbuka juga memiliki suatu masalah yaitu lebih mudah tercemar oleh sampah, sebagai contoh pada saluran drainase. Sampah merupakan material sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya suatu proses. Banyaknya sampah yang bervariasi (sampah alam, sampah manusia, sampah industri), namun di sepanjang drainase jalan sukasenang raya ini

kebanyakannya terdapat sampah plastik. Kondisi material plastik yang melayang dipermukaan drainase tersebut mengalir bersama arus hingga bertemu di suatu lautan.

2.6.1 Jenis

Jenis-jenis sampah terbagi menjadi tiga yakni sampah organik, sampah anorganik dan sampah beracun atau B3. Berikut penjelasan dari jenis-jenis sampah :

1. Organik

Sampah organik merupakan jenis sampah mudah membusuk misal sisa makanan, sayuran, daun kering dan lainnya.

2. Anorganik

Jenis sampah anorganik yang merupakan sampah tidak mudah membusuk, antara lain seperti plastik wadah, kertas, botol, gelas minuman, kayu, pembungkus makanan, dan lainnya.

3. Beracun (B3)

Berikutnya adalah sampah B3 atau beracun, biasanya sampah ini berasal dari limbah rumah sakit, limbah pabrik atau lainnya. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, yang termasuk sampah B3 ialah sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun. Sampah B3 ini memiliki ciri lain yakni sampah yang belum dapat diolah dengan cara teknologi dan timbul secara periodik.

2.6.2 Bentuk

Sampah jika dilihat berdasarkan bentuknya ada dua, yakni sampah padat dan sampah cair.

1. Padat

Sampah padat merupakan semua atau segala bahan buangan. Terkecuali, urin, kotoran manusia dan juga sampah cair lainnya.

2. Cair

Sampah cair merupakan sebuah bahan cairan yang sudah digunakan dan tak dibutuhkan kembali kemudian dibuang ke tempat pembuangan.

2.7 Faktor koreksi hasil perhitungan koefisien gesek

Faktor koreksi hasil perhitungan koefisien gesek didapatkan dari hasil perhitungan berdasarkan rumus Darcy-Weisbach modifikasi, nilai koefisien kekasaran manning dan nilai koefisien kekasaran chezy masing-masing dibagi dengan nilai koefisien gesek acuan yang dapat dilihat persamaan dibawah ini :

$$fk = \frac{f_n}{f_{Re(acuan)}} \quad (2.21)$$

Dengan :

fk = Faktor koreksi [-]

f_n = Nilai koefisien gesek (f_D, f_M, f_C) [-]

$f_{Re(acuan)}$ = Nilai koefisien berdasarkan bilangan Reynolds [-]

2.8 Presentase kesalahan perhitungan koefisien gesek

Presentase kesalahan perhitungan koefisien gesek didapatkan dari hasil perhitungan berdasarkan rumus Darcy-Weisbach modifikasi, nilai koefisien kekasaran manning dan nilai koefisien kekasaran chezy masing-masing dibagi dengan nilai koefisien gesek acuan yang dapat dilihat persamaan dibawah ini:

$$Er = \frac{|f_{Re(acuan)} - f_n|}{f_{Re(acuan)}} \times 100\% \quad (2.22)$$

Dengan :

Er = Presentase kesalahan [%]

$f_{Re(acuan)}$ = Nilai koefisien berdasarkan bilangan Reynolds [-]

f_n = Nilai koefisien gesek (f_D, f_M, f_C) [-]