

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Saluran

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka (*open channel flow*) maupun aliran pipa (*pipe flow*). Perbedaannya adalah pada aliran saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas (*free surface*), aliran pipa tidak. Pada aliran pipa air harus mengisi seluruh saluran. Permukaan bebas dipengaruhi oleh tekanan udara. Pada aliran pipa, air yang terkurung dalam saluran tertutup tidak terpengaruh secara langsung dengan tekanan udara, kecuali tekanan hidraulik (Junaidi, 2014).

Kedua jenis aliran itu hampir sama, penyelesaian masalah aliran pada saluran terbuka jauh lebih sulit dibandingkan dengan saluran pipa. Kondisi aliran pada saluran terbuka yang rumit berdasarkan kenyataan bahwa kedudukan permukaan bebas cenderung berubah sesuai dengan waktu dan ruang, dan juga bahwa kedalaman aliran, debit, kemiringan dasar saluran dan permukaan bebas terkait satu sama lain. Penampang melintang dalam pipa sudah tertentu, yang biasanya bundar. Namun pada saluran terbuka dapat beragam dari bentuk bundar sampai bentuk yang tidak teratur (Junaidi, 2014).

Pada saluran terdapat kajian tentang perilaku aliran yang dikenal dengan mekanika fluida (*fluid mechanics*). Hal ini menyangkut sifat-sifat fluida dan pengaruhnya terhadap pola aliran dan gaya yang akan timbul di antara fluida dan pembatas /dinding. Saluran terbuka menurut cara terbentuknya terbagi menjadi dua, yaitu saluran alami dan buatan, saluran alami yaitu saluran yang terbentuk secara alami, sedangkan saluran buatan adalah saluran yang dibuat dan direncanakan sesuai dengan konteks pemanfaatannya seperti, saluran irigasi, saluran drainase dan saluran pembawa pada pembangkit listrik tenaga air (Rauf dan Nur, 2019).

## 2.2 Kecepatan aliran

Kecepatan aliran merupakan waktu yang dibutuhkan per jarak yang ditempuh oleh suatu partikel untuk berpindah dari suatu tempat ke tempat yang lainnya (Anasiru, 2005). Kecepatan aliran pada sungai dipengaruhi oleh kemiringan saluran, jari-jari hidraulis dan kekasaran penampang (Hickin, 1995).

$$v = \frac{R_h^{2/3} s^{1/2}}{n} \quad (2.1)$$

Dengan:

$v$  = Kecepatan aliran [m/s]

$R_h$  = Jari-jari hidraulis [m]

$s$  = Kemiringan [ - ]

$n$  = Koefisien kekasaran Manning [ - ]

Kecepatan aliran bisa didapatkan dengan cara pengukuran dengan alat *current meter*, pengukuran dengan *current meter* pada penelitian ini menggunakan metode *point integrated sampling*, yaitu membagi pengukuran dalam arah vertikal menjadi 3 titik kedalaman yaitu 0,2h, 0,6h, dan 0,8h.

Kecepatan rerata pada metode 3 titik ini bisa didapatkan dengan menggunakan rumus:

$$\bar{v} = \left( \frac{v_{0,2} + v_{0,8}}{2} + v_{0,6} \right) \times \frac{1}{2} \quad (2.2)$$

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]

### 2.2.1 Kemiringan saluran

Kemiringan saluran mengakibatkan air bergerak semakin cepat, semakin besar nilai kemiringan saluran maka pergerakan air semakin cepat, semakin kecil

nilai kemiringan saluran maka semakin lambat pergerakan airnya (Fasdarsyah, 2016). Kemiringan saluran pada saluran pipa menurut Darcy-Weisbach dinyatakan dengan  $\frac{\Delta H}{L}$  dimana  $\Delta H$  merupakan beda ketinggian titik awal dan titik akhir saluran pipa dan  $L$  merupakan panjang pipa, sedangkan pada saluran terbuka kemiringan dinyatakan dengan notasi  $s$  yang merupakan beda ketinggian antara titik awal dan titik akhir per panjang saluran (Hickin, 1995).

### 2.2.2 Kekasaran saluran

Kekasaran yang terdapat pada saluran mempunyai arah yang berlawanan dengan arah aliran sehingga bersifat menahan aliran yang terjadi, nilai kekasaran saluran beragam berdasarkan material saluran (Putra, 2014). 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 teraturan saluran, ukuran, bentuk saluran dan tinggi muka air serta debit aliran (Chow, 1997).

Kekasaran permukaan, ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luas permukaan basah dan menimbulkan efek hambatan pada aliran. Hal ini sering dianggap sebagai satu-satunya faktor dalam memilih koefisien kekasaran, tetapi sebenarnya hanya salah satu faktor dari beberapa faktor lainnya. Secara umum dapat dikatakan bahwa butiran halus dapat mengakibatkan nilai kekasaran yang relatif rendah dan butiran kasar mengakibatkan nilai kekasaran yang tinggi (Fasdarsyah, 2016).

Kekasaran hidraulik ditentukan dengan menggunakan koefisien kekasaran Manning  $n$ , Kekasaran yang dimaksudkan disini adalah suatu angka kekasaran yang dapat menghambat kecepatan aliran air di saluran.

**Tabel 2.1**  
Koefisien kekasaran Manning

Permukaan	N	
	Minimum	Maksimum
<b>Permukaan yang dilapisi</b>		
Permukaan dari acian semen yang rapi	0,010	0,013
Permukaan saluran yang terbuat dari kayu	0,010	0,014
Saluran yang terbuat dari papan halus	0,010	0,017
Pipa air limbah yang terbuat dari besi patri (kasar)	0,010	0,015
Saluran yang terbuat dari metal logam (halus)	0,011	0,013
Beton precast	0,011	0,015
Permukaan dari mortar semen	0,011	0,015
Saluran terbuat dari papan tidak halus	0,011	0,015
Ubin untuk drainase	0,011	0,017
Beton monolit	0,012	0,016
Pelapis besi	0,013	0,017
Permukaan semen yang kasar	0,017	0,030
<b>Kanal</b>		
Hasil pengerukan tanah halus	0,025	0,033
Pada batuan yang dipotong halus	0,025	0,035
Dengan dasar dan sisi-sisinya ditumbuhi rumput liar	0,025	0,040
Pada batuan yang dipotong kasar dan tidak rata	0,015	0,045
<b>Saluran Alam</b>		
Halus dan lurus	0,025	0,033
Dengan kondisi dipenuhi rumput dan bebatuan	0,045	0,060
Yang dalam dan dipenuhi rumput	0,075	0,150
<b>Dataran</b>		
Padang rumput	0,025	0,050
Semak-semak	0,035	0,160
Pepohonan		
- Padat	0,011	0,200
- Jarang	0,030	0,050
- Dengan pohon yang besar-besar	0,080	0,120

(Sumber: Triadmodjo)

Secara teoritis koefisien kekasaran Manning berpengaruh kepada kecepatan dan debit aliran, jika koefisien gesek besar, maka nilai kecepatan dan debit aliran menjadi mengecil. Kecepatan aliran tergantung pada bahan pembentuk saluran, bila saluran dilapisi oleh tanah dimana butiran-butiran bahan pembentuk saluran seperti lempung atau lanau mempunyai efek hambatan jauh lebih kecil bila dibanding dengan bahan kasar seperti pasangan batu atau kerikil (Fasdarsyah, 2016).

Bila bahan pembentuknya halus, maka nilai hambatan menjadi rendah dan relatif tidak terpengaruh dengan perubahan taraf aliran. Sebaliknya bila bahan pembentuk saluran dari pasangan batu atau kerikil, maka nilai hambatan tinggi dan terpengaruh baik pada taraf air tinggi maupun rendah (Triatmodjo, 1993).

### 2.2.3 Ukuran dan bentuk saluran

Ukuran saluran mempengaruhi kecepatan aliran karena semakin besar ukuran saluran maka semakin besar pula luas penampang dan mengakibatkan distribusi kecepatan aliran menjadi besar serta kecepatan aliran menjadi relatif lebih kecil. Bentuk saluran mempengaruhi kecepatan aliran karena keliling basah bergantung pada bentuk salurannya. Pada saluran terbuka ada ketidak teraturan pada ukuran dan bentuk saluran, ketidakteraturan ini diperlihatkan dengan adanya cekungan dan gundukan, lobang dan tonjolan di dasar saluran. Ketidak teraturan ini menandakan adanya kekasaran sebagai tambahan dari kekasaran yang ditimbulkan oleh kekasaran permukaan dan menyebabkan perubahan terhadap kecepatan aliran (Fasdarsyah, 2016).

Lebar dan tinggi penampang saluran bisa didapatkan dengan pengukuran menggunakan meteran, sedangkan untuk luas dan keliling basah penampang persegi panjang bisa dihitung menggunakan rumus:

Luas penampang basah :

$$A = B \times h \quad (2.3)$$

Keliling basah :

$$P = B + 2h \quad (2.4)$$

Dengan:

A = Luas penampang basah [m<sup>2</sup>]

P = Keliling basah [m]

B = Lebar [m]

h = Kedalaman [m]

## 2.3 Sedimen

Sedimen merupakan hasil endapan material yang terbawa aliran air di sepanjang saluran, sedimen mempunyai karakteristik yang dapat menggambarkan properti sedimen, antara lain ukuran (*size*), bentuk (*shape*), berat volume (*specific weight*), berat jenis (*specific gravity*) (Limerinos, 1970). Sedimen adalah kepingan material yang terbentuk oleh proses fisika dan kimia dari batuan/tanah. Partikel mempunyai ukuran yang bervariasi dari bongkah sampai lempung/koloidal, dan bentuknya juga bervariasi dari bentuk bulat sampai yang bersudut/tajam serta variasi dalam kerapatan dan komposisi mineral, dengan kuarsa yang paling dominan (Fasdarsyah, 2016).

Pada umumnya partikel terangkut dengan cara bergulung, bergeser, dan melompat disebut angkutan muatan dasar (*bed-load transport*). Dan jika partikel terangkut dengan cara melayang disebut angkutan muatan layang suspensi (*suspended load transport*). Muatan layang merupakan muatan yang berasal dari aliran setempat, juga mengangkut muatan ukuran kecil yang terbawa dalam suspensi dari saluran lain yang disebut muatan cuci (*wash load*). Untuk membedakan antara material muatan dasar dan muatan cuci pada umumnya digunakan ukuran butir yang lebih kecil dari 50  $\mu\text{m}$  (Fasdarsyah, 2016).

### 2.3.1 Ukuran (*size*)

Ukuran sedimen merupakan karakteristik sedimen yang dapat diukur secara nyata. Batu besar (*boulders*) dan krakal (*cobbles*) dapat diukur tersendiri, kerikil (*gravel*) dapat diukur tersendiri atau dengan ayakan, dan pasir diukur dengan ayakan. Ayakan nomor 200 digunakan untuk memisahkan partikel pasir dari partikel yang lebih halus seperti lumpur dan lempung, sedangkan lumpur dan lempung dipisahkan dengan mengukur perbedaan kecepatan jatuhnya pada air diam (Ponce, 1989). Beberapa ahli hidraulika menggunakan klasifikasi ukuran butiran menurut AGU (*American Geophysical Union*) yang ditunjukkan pada **Tabel 2.2**.

**Tabel 2.2**

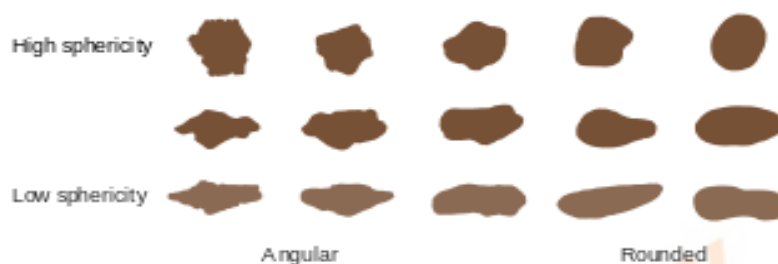
## Klasifikasi ukuran butiran

Interval [mm]	Nama	Interval [mm]	Nama
4096 s/d 2048	Batu sangat besar	1 s/d 0,5	Pasir kasar
2048 s/d 1024	Batu besar	0,5 s/d 0,25	Pasir sedang
1024 s/d 512	Batu sedang	0,25 s/d 0,125	Pasir halus
512 s/d 256	Batu kecil	0,125 s/d 0,0625	Pasir sangat halus
256 s/d 128	Kerakal besar	0,0625 s/d 0,03125	Lumpur kasar
128 s/d 64	Kerakal kecil	0,03125 s/d 0,015625	Lumpur sedang
64 s/d 32	Kerikil sangat kasar	0,015625 s/d 0,0078125	Lumpur halus
32 s/d 16	Kerikil kasar	0,0078125 s/d 0,00390625	Lumpur sangat halus
16 s/d 08	Kerikil sedang	0,00390625 s/d 0,001953125	Lempung kasar
8 s/d 4	Kerikil halus	0,001953125 s/d 0,0009765625	Lempung sedang
4 s/d 2	Kerikil sangat halus	0,0009765625 s/d 0,0004882813	Lempung halus
2 s/d 1	Pasir sangat kasar	0,0004882813 s/d 0,0002441406	Lempung sangat halus

(Sumber: American Geophysical Union)

### 2.3.2 Bentuk (*Shape*)

Sedimen memiliki berbagai macam bentuk, yang biasanya kita jumpai adalah bentuk pipih, lonjong, bulat dan tidak beraturan. Bentuk sedimen mempengaruhi rongga yang tercipta antar sedimen sehingga bila rongga semakin besar maka sedimen semakin mudah terangkut oleh air, karena air masuk mengisi rongga antar sedimen (Ponce, 1989).



**Gambar 2.1** Bentuk Sedimen

(Sumber: Sediment transport, Hickin)

### 2.3.3 Berat volume (*specific weight*) dan Berat jenis (*specific gravity*)

Berat volume (*specific weight*) sedimen adalah berat butir partikel sedimen setiap satu satuan volume, sedangkan berat jenis (*specific gravity*) sedimen adalah rasio berat butir partikel sedimen terhadap berat volume air (Ponce, 1989). Berat jenis sedimen pada umumnya diperkirakan sekitar 2,65.

### 2.3.4 Analisa Ukuran Butir Sedimen

Analisa ukuran butir adalah suatu metoda analisa yang menggunakan ukuran butir sebagai materi analisa (Friedman, 1979). Sedimen biasanya digunakan untuk menentukan kekasaran saluran, ukuran yang biasa digunakan sebagai kesatuan kekasaran adalah  $D_{90}$ ,  $D_{84}$ ,  $D_{65}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{35}$ , yang dikenal dengan  $D_n$  dimana  $D_n$  adalah ukuran dari nilai tengah yang digunakan sebagai  $n\%$  dari jumlah keseluruhan material, yang menjadi perbandingan antara batas tahanan dan mempunyai pengaruh yang sama terhadap suatu tempat dan jenis aliran. Keadaan yang sesungguhnya mungkin tidak akan ditemui dengan suatu pendekatan, tetapi pendekatan ini diharapkan dapat memenuhi, sepanjang variasi skala kekasaran,



distribusi ukuran sedimen, bentuk dan orientasi jarak dari suatu tempat tidak terlalu jauh perbedaannya (Fasdarsyah, 2016).

Distribusi ukuran butiran akan disajikan dalam bentuk grafik, namun untuk mendapatkan distribusi ukuran butiran, harus dilakukan analisis ukuran butiran untuk sedimen. Sedimen akan diayak dengan ukuran bukaan saringan yang berbeda-beda sehingga didapatkan berat sedimen yang tertahan dalam saringan. Berikut ini adalah rumus yang digunakan dalam menentukan berat sedimen yang lolos saringan :

$$S_{Lolos} = \Sigma S_{Tertahan} - S_{Tertahankumulatif} \quad (2.5)$$

Dengan:

$S_{Lolos}$  = Berat sedimen yang lolos [gr]

$\Sigma S_{Tertahan}$  = Jumlah total berat sedimen yang tertahan di saringan [gr]

$S_{Tertahankumulatif}$  = Berat sedimen yang tertahan kumulatif [gr]

Selanjutnya, hasil dari sedimen yang tertahan dan yang lolos diubah kedalam besaran persentase menggunakan rumus:

- i. Rumus untuk menentukan persentase sedimen yang tertahan

$$\%S_{Tertahan} = \frac{S_{Tertahan}}{\Sigma S_{Tertahan}} \times 100 \quad (2.6)$$

Dengan:

$\%S_{Tertahan}$  = Persentase sedimen yang tertahan di ayakan [%]

$S_{Tertahan}$  = Berat sedimen yang tertahan di tiap ayakan [gr]

$\Sigma S_{Tertahan}$  = Jumlah total berat sedimen yang tertahan di saringan [gr]

- ii. Rumus untuk menentukan persentase sedimen yang Lolos

$$\%S_{Lolos} = \frac{S_{Lolos}}{\Sigma S_{Tertahan}} \times 100 \quad (2.7)$$

Dengan:

$\%S_{Lolos}$  = Persentase sedimen yang lolos di ayakan [%]

$S_{Lolos}$  = Berat sedimen yang lolos di tiap ayakan [gr]

$\Sigma S_{Tertahan}$  = Jumlah total berat sedimen yang tertahan di saringan [gr]

Persentase sedimen yang tertahan dan yang lolos diolah kembali sehingga didapatkan persentase sedimen tertahan kumulatif dan persentase sedimen lolos kumulatif menggunakan kedua rumus berikut:

i. Rumus persentase tertahan kumulatif

$$\%S_{Tertahan\ Kumulatif} = \%S_{Tertahan\ Atas} + \%S_{Tertahan\ Bawah} \quad (2.8)$$

Dengan :

$\%S_{Tertahan\ Atas}$  = Persentase sedimen yang tertahan di ayakan sebelumnya [gr]

$\%S_{Tertahan\ Bawah}$  = Persentase sedimen yang tertahan di ayakan berikutnya [gr]

ii. Rumus persentase lolos kumulatif

$$\%S_{Lolos\ Kumulatif} = \Sigma \%S_{Tertahan} - \%S_{Tertahan\ Kumulatif} \quad (2.9)$$

Dengan :

$\Sigma \%S_{Tertahan}$  = Jumlah persentase sedimen yang tertahan di ayakan [gr]

$\%S_{Tertahan\ Kumulatif}$  = Persentase kumulatif sedimen yang tertahan di ayakan [gr]

Hasil dari persentase lolos kumulatif disajikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan persentase lolos kumulatif dengan diameter butiran dalam dimensi milimeter. Data diameter ukuran butir didapat dengan membaca grafik analisa ukuran butir sedimen, pembuatan grafik analisa ukuran butir sedimen dengan cara mengelompokkan sedimen berdasarkan ukuran butir sedimen yang didapatkan dari analisa saringan.

## 2.4 Darcy-Weisbach

Pada tahun 1845 Weisbach dan pada tahun 1854 darcy melakukan percobaan pada pipa silinder, didapatkan bahwa kehilangan energi  $\Delta H$  pada pipa terjadi sebab beberapa faktor, yaitu kecepatan awal  $\frac{v^2}{2g}$ , panjang pipa  $L$  dan diameter pipa  $D$  (Hickin, 1995).

Secara umum persamaan Darcy-Weisbach menghitung kehilangan energi  $\Delta H$  pada saluran tertutup dapat dilihat dalam rumus berikut ini:

$$\Delta H = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (2.10)$$

Dengan :

$\Delta H$  = Kehilangan energi [m]

$f$  = Koefisien gesek [ - ]

$L$  = Panjang pipa [m]

$D$  = Diameter pipa [m]

$v$  = Kecepatan aliran [m/s]

$g$  = Percepatan gravitasi [m/s]

Koefisien gesek diturunkan oleh Weisbach (1845) untuk aliran pada pipa, penelitian terkait dilakukan oleh Darcy (1854) menghasilkan  $f$  yang kemudian diberi nama koefisien gesek Darcy-Weisbach. Nilai  $f$  pada persamaan Darcy-Weisbach merupakan koefisien tak berdimensi yang artinya tidak memiliki satuan (Hickin, 1995). Berikut adalah rumus koefisien gesek menurut Darcy-Weisbach:

$$f = D \times \frac{\Delta H}{L} \times \frac{2g}{v^2} \quad (2.11)$$

Dengan:

$f$  = Koefisien gesek [ - ]

$D$  = Diameter pipa [m]

$\Delta H$  = Kehilangan energi [m]

- $L$  = Panjang pipa [m]  
 $g$  = Percepatan gravitasi [m/s]  
 $v$  = Kecepatan aliran [m/s]

Hasil penurunan rumus koefisien gesek yang dilakukan oleh Hickin mendapatkan hasil bahwa kehilangan energi per panjang pipa pada saluran tertutup nilainya sama dengan kemiringan saluran pada saluran terbuka dan diameter pipa pada saluran tertutup nilainya disama dengankan jari-jari hidraulis pada saluran terbuka, nilai  $D$  yang disama dengankan terhadap  $R_h$  didapatkan dari penurunan rumus pada saluran tertutup untuk pipa bulat diameter  $D$  yang dilakukan oleh Hickin, dan mendapatkan hasil bahwa  $R_h = \frac{A}{P} = \frac{\pi(\frac{D}{2})^2}{\pi D} = \frac{D}{4}$  (Hickin, 1995), maka  $D = 4R_h$ .

Maka bila  $\Delta H/L$  dan  $D$  disubstitusikan dari persamaan (2.11) didapatkan :

$$f = \frac{8R_h s g}{v^2} \quad (2.12)$$

Dengan:

- $f$  = Koefisien gesek [ - ]  
 $R_h$  = Jari-jari hidraulis [m]  
 $s$  = Kemiringan [ - ]  
 $g$  = Percepatan gravitasi [m/s]  
 $v$  = Kecepatan [m/s]

Pengembangan hubungan empiris antara ukuran butiran dan tahanan geser menghasilkan persamaan (2.13) (Leopold dan Wolman, 1957)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,0 + 2,0 \log \frac{R_h}{D_{84}} \quad (2.13)$$

Dengan:

- $f$  = Koefisien gesek [ - ]  
 $R_h$  = Jari-jari hidraulis [m]  
 $D_{84}$  = Ukuran butiran yang lolos 84 persen butiran aliran dasar [m]

$D_{84}$  digunakan untuk perhitungan karena nilainya mewakili ukuran butiran sedimen yang terdapat di saluran (Leopold dan Wolman, 1957).

Koefisien gesek bisa didapatkan dari nilai koefisien kekasaran Manning seperti ditunjukkan pada persamaan (2.14) (Leopold dan Wolman, 1957)

$$f = \frac{8gn^2}{(1,486 R^{1/6})} \quad (2.14)$$

Dengan:

- $f$  = Koefisien gesek [ - ]
- $g$  = Percepatan gravitasi [m/s]
- $n$  = Koefisien kekasaran Manning [ - ]
- $R_h$  = Jari-jari hidraulis [m]

## 2.5 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds digunakan untuk menunjukkan sifat utama sebuah aliran, yaitu apakah aliran itu laminar, turbulen, ataukah transisi serta letaknya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen berbanding dengan laminar (Masyuda, 2018). Rumus untuk mengetahui angka reynolds suatu aliran adalah sebagai berikut :

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2.15)$$

Dengan:

- $Re$  = Angka Reynolds [ - ],
- $v$  = kecepatan [m/s],
- $D$  = diameter pipa [m],
- $\nu$  = Viskositas kinematik fluida [m<sup>2</sup>/s].

**Tabel 2.3**

## Viskositas Kinematik

Temperatur [°C]	Viskositas Kinematik [ $10^{-6}$ m <sup>2</sup> /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*)

Pada fluida air, suatu aliran diklasifikasikan laminar apabila aliran tersebut mempunyai bilangan reynolds kurang dari 2000. Untuk aliran transisi berada pada bilangan  $2000 < Re < 4000$ , disebut juga sebagai bilangan reynolds kritis. Sedangkan untuk aliran turbulen mempunyai bilangan reynolds lebih dari 4000 (Masyuda, 2018).

### 2.5.1 Aliran Laminar

Aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan–lapisan dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk

meredam kecendrungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan (Masyuda, 2018). Dinyatakan dengan rumus faktor gesekan Darcy untuk aliran laminar (ketika bilangan Reynolds di bawah 2000) adalah (Masyuda, 2018) :

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.16)$$

Dengan:

$f$  = Koefisien gesek [ - ]

$Re$  = Angka Reynolds [ - ]

### 2.5.2 Aliran Turbulen

Aliran dimana pergerakan dari sebuah partikel–partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi akan membangkitkan tegangan geser yang merata pada seluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian – kerugian aliran (Masyuda, 2018). Rumus koefisien gesek untuk aliran turbulen (ketika nilai bilangan Reynolds lebih dari 4000) adalah (Masyuda, 2018) :

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (2.17)$$

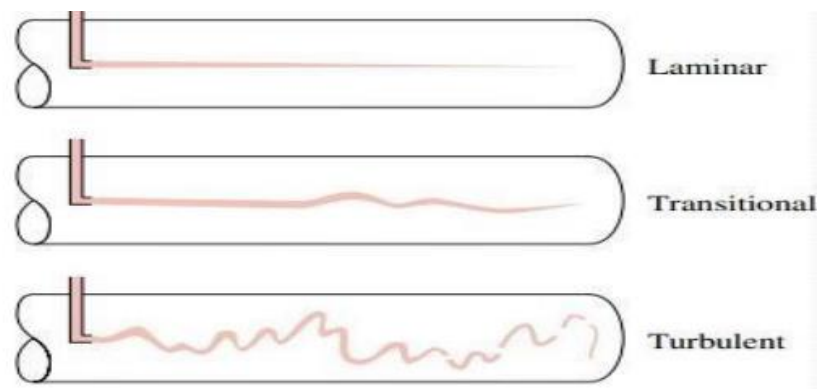
Dengan:

$f$  = Koefisien gesek [ - ]

$Re$  = Angka Reynolds [ - ]

### 2.5.3 Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan antara aliran laminar dan aliran turbulen. Kondisi aliran transisi yaitu sebagian aliran lancar dan sebagian aliran terganggu, Kondisi aliran ditunjukkan oleh **Gambar 2.2** (Masyuda, 2018).



**Gambar 2.2** Jenis aliran  
(Sumber: Potter, Merle C dkk, 2011)

 itenas library