

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas yang dipengaruhi oleh tekanan udara. Menurut asalnya, saluran dapat digolongkan menjadi saluran alam (natural) dan saluran buatan (artificial). Saluran alam 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. Kondisi aliran dalam 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 adalah tergantung satu sama lain. Pada saluran terbuka jenis penampangnya dapat beragam dari bentuk bundar sampai bentuk yang tidak teratur.

Kebanyakan aliran saluran terbuka adalah turbulen, biasanya dengan air sebagai cairannya. Metode menganalisis aliran saluran terbuka tidak seterkembang metode untuk conduit tertutup. Persamaan-persamaan yang dipakai mengasumsikan turbulensi penuh, dengan kerugian tinggi tekan yang sebanding dengan kuadrat kecepatan. Walaupun hampir segenap data tentang aliran saluran terbuka telah diperoleh eksperimen-eksperimen mengenai aliran air, persamaan-persamaannya kiranya akan menghasilkan nilai-nilai yang wajar untuk cairan lainnya yang viskositasnya rendah (Streeter Victor L, 1988).

Kekasaran pada saluran terbuka tergantung pada tergantung pada kedudukan permukaan bebas. Sebab itu pemilihan koefisien gesekan untuk saluran terbuka lebih bersifat tidak pasti dibandingkan dengan untuk pipa. Umumnya, penyelesaian untuk aliran saluran terbuka lebih didasarkan pada hasil pengamatan dibandingkan dengan pada aliran pipa (Chow 1992).

2.2 Kecepatan Aliran

Dengan adanya suatu permukaan bebas dan gesekan dan gesekan di sepanjang dinding saluran, maka kecepatan dalam saluran tidak terbagi merata dalam penampang saluran. Distribusi kecepatan pada penampang saluran juga tergantung pada faktor-faktor lain, seperti bentuk penampang yang tidak lazim, kekasaran saluran dan adanya tekukan-tekukan (Chow 1992).

Kecepatan aliran merupakan waktu yang dibutuhkan per jarak yang ditempuh oleh suatu partikel untuk berpindah dari satu tempat ke tempat yang lainnya (Anasiru, 2005). Rumus kecepatan aliran menurut kekasaran manning adalah sebagai berikut:

$$v = \frac{Rh^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (2.1)$$

v = Kecepatan aliran [m/s]

Rh = Jari-jari hidraulik [m]

S = Kemiringan [-]

n = Koefisien kekasaran Manning [-]

Kecepatan pada batas harus sama dengan nol, dan dalam hal aliran saluran terbuka pada umumnya kecepatan meningkat dengan bertambahnya jarak dari batas. Kecepatan maksimum tidak terjadi pada permukaan bebas tetapi biasanya di bawah permukaan bebas pada jarak 0,05 sampai 0,25 kedalaman. Kecepatan rata-rata pada garis vertikal kadang-kadang ditentukan dengan mengukur kecepatan 0,6 kedalaman, tetapi cara yang lebih dapat diandalkan ialah dengan mengambil harga rata-rata dari kecepatan pada 0,2 dan 0,8 kedalaman, sesuai dengan pengukuran pengukuran Survei Geologi Amerika Serikat (Victor L. Streeter, 1988).

Kecepatan aliran didapatkan dengan cara pengukuran langsung dilapangan dengan alat *current meter*. Pengukuran ini dilakukan dengan cara membagi pengukuran arah vertikal menjadi 3 titik kedalaman yaitu 0,2h, 0,6h, dan 0,8h. Sedangkan untuk arah horizontal dibagi menjadi 5 titik yaitu 1/8 kanan, 1/4 kanan, tengah, 1/4 kiri, dan 1/8 kiri. Kecepatan rata-rata 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].

2.3 Kemiringan Saluran

Kemiringan saluran akan mengakibatkan pergerakan kecepatan aliran air menjadi lebih cepat ataupun menjadi lebih lambat. Jika kecepatan aliran air menjadi lebih cepat itu berarti nilai kemiringan salurannya besar, akan tetapi apabila kecepatan aliran air semakin lambat itu berarti kemiringan salurannya kecil. Pada saluran terbuka kemiringan saluran dinyatakan dengan notasi s yang merupakan beda ketinggian antara titik awal dan titik akhir per panjang saluran (Hickin, 1995).

Rumus yang digunakan dalam mencari kemiringan saluran adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{\text{Beda tinggi titik A dan B}}{\text{Jarak titik A ke B}} \times 100 \quad (2.3)$$

$$S = \frac{I}{100} \quad (2.4)$$

Dengan:

I = kemiringan saluran [%]

S = kemiringan saluran [-]

2.4 Kekasaran Saluran

Kekasaran pada saluran terbuka arahnya berlawanan arah dengan aliran air sehingga sifat dari kekasaran saluran bersifat menahan aliran air, nilai kekasaran saluran tergantung dari material yang digunakan dalam saluran. Menurut (Chow, 1992) 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.

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 terjadi baik pada pada taraf air tinggi maupun rendah (Triatmojo, 1993).

2.5 Kekasaran Manning

Menurut (Fasdarsyah, 2016), secara teoritis koefisien kekasaran Manning berpengaruh kepada kecepatan dan debit aliran, jika nilai hambatan besar, maka nilai kecepatan dan debit aliran menjadi mengecil. Dengan demikian 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. Tabel koefisien kekasaran manning dapat dilihat pada **Tabel 2.1** di bawah ini.

Tabel 2.1 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, 2008)

2.6 Kekasaran Chezy

Zat cair yang mengalir melalui saluran terbuka akan menimbulkan tegangan geser (tahanan) pada dinding saluran. Tahanan ini akan diimbangi oleh komponen gaya berat yang bekerja pada zat cair dalam arah aliran. Di dalam aliran seragam, komponen gaya berat dalam arah aliran adalah seimbang dengan

tahanan geser. Tahanan geser ini tergantung pada kecepatan aliran (Triatmojo, 1993).

$$V = C \sqrt{R_h I} \quad (2.5)$$

Dengan:

V = Kecepatan aliran [m/s]

R_h = Jari-jari hidraulik [m]

I = Kemiringan saluran [%]

Seseorang ahli dari Irlandia, Robert Manning mengusulkan rumus berikut ini:

$$C = \frac{1}{n} R_h^{1/6} \quad (2.6)$$

Untuk mencari nilai n dari rumus di atas maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{R_h^{1/6}}{C} \quad (2.7)$$

Dengan:

C = Koefisien Chezy [-]

R_h = Jari-jari hidraulik [m]

n = Koefisien Manning [-]

Beberapa ahli telah mengusulkan beberapa bentuk koefisien Chezy C dari rumus umum $V = C \sqrt{R_h I}$. Koefisien tersebut tergantung pada bentuk tampang lintang, bahan dinding saluran, dan kecepatan aliran (Triatmojo, 1993). Dalam penelitian ini akan ditinjau dengan menggunakan rumus Bazin:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma B}{\sqrt{R_h}}} \quad (2.8)$$

Dengan γB adalah koefisien yang tergantung pada kekasaran dinding. Nilai γB untuk beberapa jenis dinding saluran terdapat pada **Tabel 2.2** di bawah ini.

Tabel 2.2 Koefisien Kekasaran Bazin

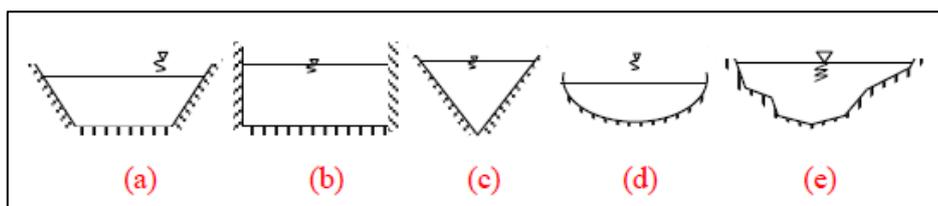
Jenis Dinding	γB
Dinding Sangat Halus	0,06
Dinding Halus (Papan, Batu, Bata)	0,16
Dinding Batu Pecah	0,46
Dinding Tanah Sangat Teratur	0,85
Saluran Tanah Dengan kondisi Biasa	1,30
Saluran Tanah dengan Dasar Batu Pecah Dan Tebing Rumput	1,75

(Sumber: Bambang Triatmodjo, 2008)

2.7 Ukuran dan Bentuk Saluran

Penampang saluran alam umumnya sangat tidak beraturan, biasanya bervariasi dari bentuk seperti parabola sampai trapesium. Penampang saluran buatan biasanya dirancang berdasarkan bentuk geometris yang umum. Bentuk yang paling umum dipakai untuk saluran ber dinding tanah yang tidak dilapisi adalah bentuk trapesium, sebab stabilitas kemiringan dindingnya dapat disesuaikan. Bentuk persegi panjang dan segi tiga merupakan bentuk khusus selain trapesium. Berhubung bentuk persegi panjang mempunyai sisi tegak, biasanya dipakai untuk saluran yang dibangun dengan bahan yang stabil, seperti pasangan batu, padas, logam atau kayu. Penampang segitiga hanya dipakai untuk saluran kecil, selokan, dan penyalidikan di laboratorium. Penampang lingkaran banyak dipakai untuk saluran pembuangan air kotor dan gorong-gorong berukuran sedang maupun kecil (Chow 1992).

Penampang saluran terbuka memiliki berbagai macam bentuk sebagai mana dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut.



Gambar 2.1 Berbagai Macam Bentuk Saluran Terbuka (a) Trapesium, (b) Persegi, (c) Segitiga, (d) Lingkaran, (e) Tak Beraturan.

Data ukuran saluran yaitu mencari lebar dan tinggi didapatkan dengan cara pengukuran langsung dilapangan dengan menggunakan alat meteran, sedangkan untuk mendapatkan luas dan keliling basah penampang persegi panjang dengan menggunakan rumus:

Luas penampang:

$$A = B \times H \quad (2.9)$$

Keliling basah:

$$P = B + 2H \quad (2.10)$$

Jari-jari hidraulik:

$$R_h = \frac{A}{P} \quad (2.11)$$

Dengan:

A = Luas penampang [m^2],

P = Keliling basah [m],

B = Lebar [m],

H = Tinggi [m].

R_h = jari-jari hidraulik [m]

2.8 Vegetasi

Vegetasi adalah kumpulan dari berbagai jenis tumbuhan yang tumbuh bersama-sama pada suatu tempat dimana antara individu-individu penyusunan terdapat interaksi yang erat, baik diantara tumbuhan-tumbuhan maupun hewan yang hidup dalam lingkaran tersebut. Vegetasi tidak hanya kumpulan dari individu-individu tumbuhan melainkan membentuk suatu kesatuan yang saling tergantung satu sama lain, disebut sebagai suatu komunitas tumbuh-tumbuhan.

Vegetasi merupakan jenis tumbuhan di saluran drainase atau sungai yang memperlambat kecepatan aliran air dan juga untuk menahan erosi. Vegetasi dapat menghambat aliran air yang ada di saluran drainase. Terhambatnya aliran air oleh tumbuhan dapat mengurangi kapasitas saluran drainase.

2.8.1 Saluran Berumput

Adanya rumput atau tumbuhan di saluran akan menimbulkan turbulensi yang cukup besar, yang berarti adanya kehilangan energi dan hambatan aliran. Namun, untuk saluran tahan yang dipakai untuk pengairan, adanya lapisan rumput ini sering dipandang menguntungkan dan disukai. Rumput tersebut akan menstabilkan tubuh saluran, mengkonsolidasikan massa tanah di dasar saluran dan mengontrol erosi permukaan saluran dan gerakan butir-butir tanah di sepanjang dasar saluran (Chow 1992).

Keofisien kekasaran Manning untuk saluran berumput disebut koefisien hambatan (*retardance coefficient*). Kecepatan aliran yang diijinkan untuk aliran pada saluran berumput berumput adalah kecepatan yang dapat mencegah terjadinya erosi yang berlebihan di saluran dalam jangka waktu yang cukup lama (Chow 1992).

2.9 Koefisien Gesek

Nilai koefisien gesek adalah nilai yang didapatkan dari gesekan yang terjadi antara aliran air dengan penampang saluran yang dipengaruhi oleh jari-jari hidrolis, kemiringan, dan tingkat kekasaran pada saluran. Untuk menghitung nilai koefisien gesek pada penelitian ini digunakan metode metode sebagai berikut:

2.9.1 Darcy-Weisbach

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

Rumus persamaan Darcy-Weisbach untuk menghitung kehilangan energi ΔH pada saluran tertutup dapat dilihat dalam persamaan rumus di bawah ini:

$$\Delta H = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (2.12)$$

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]

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). Rumus koefisien gesek menurut Darcy-Weisbach adalah sebagai berikut:

$$f = D \times \frac{\Delta H}{L} \times \frac{2g}{v^2} \quad (2.13)$$

Dengan:

- f = Koefisien gesek [-]
 D = Diameter pipa [m]
 ΔH = Kehilangan energi [m]
 L = Panjang pipa [m]
 g = Percepatan gravitasi [m/s]
 v = Kecepatan aliran [m/s]

Hasil penurunan koefisien gesek yang dilakukan oleh Hackin 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 hidrolis 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 Hackin, dan

mendapatkan hasil bahwa $Rh = \frac{A}{P} = \frac{\pi(\frac{D}{2})^2}{\pi D} = \frac{D}{4}$ (Hickin, 1995), maka $D = 4Rh$.

Maka, jika $\Delta H/D$ dan D didistribusikan dari persamaan diatas didapatkan rumus modifikasi Darcy-Weisbach sebagai berikut:

$$f = \frac{8Rhsg}{v^2} \quad (2.14)$$

Dengan:

- f = Koefisien gesek [-]
- Rh = Jari-jari hidraulik [m]
- s = Kemiringan [-]
- g = Percepatan gravitasi [m/s]
- v = Kecepatan [m/s]

2.9.3 Koefisien Gesek Berdasarkan Kekasaran Manning

Menurut (Leopold dan Wolman, 1957), koefisien gesek bisa di dapatkan dari nilai koefisien kekasaran Manning yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini:

$$f = \frac{8gn^2}{(1,486 Rh^{1/6})} \quad (2.15)$$

Dengan:

- f = Koefisien gesek [-]
- g = Percepatan gravitasi [m/s²]
- n = Koefisien kekasaran Manning [-]
- Rh = Jari-jari hidraulik [m]

2.9.2 Koefisien Gesek Berdasarkan Kekasaran Chezy

Rumus yang digunakan untuk koefisien gesek berdasarkan kekasaran Chezy adalah sama dengan berdasarkan kekasaran Manning, perbedaanya adalah n yang dimasukan adalah n yang didapat dari perhitungan rumus (2.7).

$$f = \frac{8g \left(\frac{Rh^{1/6}}{C} \right)^2}{(1,486 Rh^{1/6})} \quad (2.16)$$

Jika disederhanakan rumus diatas yaitu akan menjadi persamaan sebagai berikut:

$$f = \frac{8gRh^{1/6}}{(1,486 C^2)} \quad (2.17)$$

Dengan:

f = Koefisien gesek [-]

g = Percepatan gravitasi [m/s^2]

C = Koefisien kekasaran Chezy [-]

Rh = Jari-jari hidraulik [m]

2.9.4 Koefisien Gesek Berdasarkan Bilangan Reynolds

Aliran saluran terbuka adalah laminar bila bilangan Reynolds R kecil, dan turbulen bila R besar. Banyak percobaan menunjukkan bahwa aliran dalam pipa berubah dari laminar ke turbulen bila interval R terletak diantara nilai kritis 2000 dan suatu nilai yang tinggi dapat mencapai 50.000 (Chow, 1992).

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

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2.18)$$

Dengan:

Re = Angka Reynolds [-],

v = kecepatan [m/s],

D = diameter pipa [m],

ν = Viskositas kinematik fluida [m^2/s].

Tabel 2.3 Viskositas Kinematik (Air)

Temperatur [°C]	Viskositas Kinematik [$10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$]
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*)**2.10 Aliran Fluida**

Aliran fluida dibagi menjadi 3 yaitu aliran laminar, aliran turbulen dan aliran transisi.

2.10.1 Aliran Laminar

Suatu aliran dikatakan laminar jika gaya kekentalan relatif sangat besar dibandingkan dengan gaya inersia sehingga kekentalan berpengaruh besar terhadap perilaku aliran. Pada aliran laminar, butir-butir air seolah-olah bergerak menurut lintasan tertentu yang teratur atau lurus, dan selapis cairan yang sangat tipis seperti menggelincir di atas lapisan di sebelahnya (Chow, 1992). Dinyatakan

dengan rumus faktor gesekan Darcy untuk aliran laminar (ketika bilangan Reynolds di bawah 2000) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.19)$$

Dengan:

f = Koefisien gesek [-]

Re = Angka Reynolds [-]

2.10.2 Aliran Turbulen

Suatu aliran dikatakan turbulen jika gaya kekentalan relatif lemah dibandingkan dengan gaya kelebamannya. Pada aliran turbulen, butir-butir air bergerak menurut lintasan yang tidak teratur, tidak lancar maupun tidak tetap, walaupun butir-butir tersebut tetap menunjukkan gerak maju dalam aliran secara keseluruhan (Chow, 1992). Rumus koefisien gesek untuk aliran turbulen (ketika nilai bilangan Reynolds lebih dari 4000) adalah sebagai berikut:

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (2.20)$$

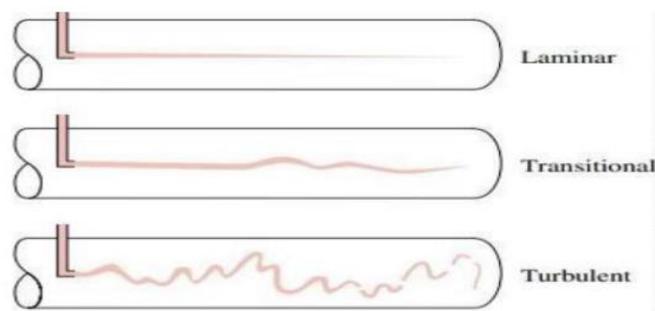
Dengan:

f = Koefisien gesek [-]

Re = Angka Reynolds [-]

2.10.3 Aliran Transisi (Peralihan)

Aliran transisi (peralihan) adalah aliran peralihan antara aliran laminar dan aliran turbulen. Kondisi aliran transisi yaitu sebagian aliran lancar dan sebagian aliran terganggu, Kondisi aliran ditunjukkan pada **Gambar 2.2** (Putra, 2020).



Gambar 2.2 Jenis Aliran

2.11 Faktor Koreksi dan Presentasi Kesalahan

Nilai koefisien gesek yang didapatkan dari bilangan Reynolds dijadikan acuan faktor koreksi karena didasarkan pada suatu keadaan bahwa suatu tempat mengalirnya air, sering terjadi perubahan bentuk aliran yang satu menjadi aliran yang lainnya dan perhitungan nilai koefisien gesek berdasarkan bilangan Reynolds menggunakan data *primer* atau data hasil pengukuran di lapangan yang dapat meminimalisir faktor kesalahan karena memperhitungkan suhu aliran dalam perhitungan/pengolahan data, serta karena aliran fluida menimbulkan gangguan (dan perubahan) terhadap keadaan aliran secara menyeluruh (Hickin, Edward J, 1995).

Hasil perhitungan nilai angka Reynolds secara keseluruhan menunjukkan bahwa jenis aliran turbulen ($Re > 4000$) pada ketiga segmen yang menjadi lokasi pengambilan data.

Presentasi kesalahan perhitungan nilai koefisien gesek digunakan untuk menunjukkan presentase kesalahan dari hasil perhitungan terhadap saluran normal. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menentukan faktor koreksi dan presentase kesalahan:

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

$$Er = \frac{|f_{Re(acuan)} - f_n|}{f_{Re(acuan)}} \times 100\% \quad (2.21)$$

Dengan:

fk = Faktor koreksi [-]

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

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

Er = Presentase kesalahan [%]