

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Suarlan (2010) melakukan penelitian aliran fluida pada sambungan pipa *elbow* dan sambungan pipa *tee* dengan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Setelah dilakukan analisa aliran fluida didalam pipa *elbow* 90° dan pipa *tee* dengan simulasi menggunakan software Solid Works dapat dihasilkan penurunan tekanan pada *elbow* 90° yaitu 0,3 pascal dan penurunan tekanan pada pipa *tee* yaitu yaitu 1,3 Pascal. Sedangkan menggunakan metode perhitungan empiris penurunan tekanan pada *elbow* 90° yaitu 0,1536 Pascal dan penurunan tekanan pada pipa *tee* yaitu yaitu 0,1792 Pascal. pipa *elbow* 90° dan pipa *tee* dengan asumsi diameter dan panjang pipa sama maka penurunan tekanan pada pipa *tee* lebih besar dibandingkan dengan pipa *elbow* 90° begitu pula sebaliknya.

Rohadi (2005) melakukan penelitian terhadap pengaruh bentuk *elbow* terhadap besarnya *pressure loss* dengan metode simulasi *fluent*. Hasil penelitian menunjukkan semakin banyak jumlah potongan pipa lurus yang digunakan untuk membentuk *elbow* maka semakin sedikit pula penambahan *pressure loss* dibandingkan dengan *elbow* standar. Hal ini dapat dilihat dimana untuk *elbow* dengan 2 buah potongan pipa lurus akan menambah 380%, sedangkan *elbow* dengan 10 buah potongan pipa lurus hanya memberikan penambahan sebesar 20%.

Muntaha (2004) melakukan penelitian terhadap pengaruh jumlah sudu pengarah terhadap penurunan tekanan dan koefisien kerugian pada belokan pipa. Hasil penelitian menunjukkan semakin banyak jumlah sudu pengarah pada belokan pipa maka semakin kecil penurunan tekanan dan koefisien kerugiannya. Semakin besar debit aliran pada belokan pipa maka semakin besar penurunan tekanannya, sedangkan nilai koefisien kerugiannya semakin kecil. Dan semakin banyak jumlah sudu pengarah pada belokan pipa maka distribusi kecepatan dan tekanan makin merata.

2.2 Definisi Fluida

Definisi yang lebih tepat untuk membedakan zat padat dengan fluida adalah dari karakteristik deformasi bahan-bahan tersebut. Zat padat dianggap sebagai bahan yang

menunjukkan reaksi deformasi yang terbatas ketika menerima atau mengalami suatu gaya geser (*shear*). Sedangkan fluida memperlihatkan fenomena sebagai zat yang terus menerus berubah bentuk apabila mengalami tegangan geser, dengan kata lain yang dikategorikan sebagai fluida adalah zat yang berubah bentuk secara kontinyu (terus-menerus) bila terkena tegangan geser, betapapun kecilnya tegangan geser itu. Jadi dapat disimpulkan fluida itu merupakan suatu zat yang dapat dengan mudah berubah bentuk, tergantung dari tempat fluida itu berada. Fluida dapat dikatakan statis bila fluida tersebut dalam keadaan tidak bergerak atau diam pada suatu wadah dan dapat dikatakan kinematis bila fluida tersebut bergerak secara terus-menerus (*continue*) akibat adanya suatu gaya gesek atau tekan seberapapun kecilnya.

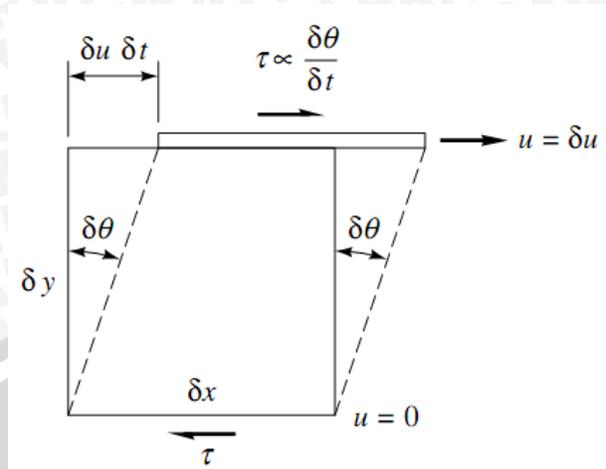
Fluida secara umum bila dibedakan dari sudut kemampatannya (*compressibility*), maka bentuk fluida terbagi dua jenis, yaitu: *compressible fluid* dan *incompressible fluid*. Yang dimaksud dengan *compressible fluid* adalah fluida yang tingkat kerapatannya dapat berubah-ubah ($\rho \neq \text{konstan}$), contohnya zat berbentuk gas. Sedangkan *incompressible fluid* adalah fluida yang tingkat kerapatannya tidak berubah atau perubahannya kecil sekali dan dianggap tidak ada ($\rho = \text{konstan}$), contohnya zat berbentuk cair.

2.3 Sifat-Sifat Fluida

Semua fluida mempunyai sifat-sifat atau karakteristik-karakteristik yang penting yaitu, viskositas dan *density*.

2.3.1 Viskositas

Viskositas adalah ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan-perubahan bentuk. Viskositas dipengaruhi oleh temperatur, tekanan kohesi dan laju perpindahan momentum molekularnya. Viskositas zat cair cenderung menurun dengan seiring bertambahnya kenaikan temperatur, hal ini disebabkan gaya-gaya kohesi pada zat cair bila dipanaskan akan mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya temperatur pada zat cair yang menyebabkan berturunnya viskositas dari zat cair tersebut. Perubahan bentuk atau meregangnya fluida dengan laju $\dot{\gamma}$ ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Fluida yang meregang dengan laju $\delta u \delta t$.
 Sumber : White (1986:25).

Viskositas dibagi menjadi dua macam yaitu:

1. Viskositas dinamik atau viskositas mutlak atau *absolute viscosity*

Viskositas dinamik adalah sifat fluida yang menghubungkan tegangan geser dengan gerakan fluida. Viskositas dinamik tampaknya sama dengan rasio tegangan geser terhadap gradien kecepatan sehingga dimensinya adalah gaya kali waktu per satuan luas atau massa per satuan panjang dan waktu.

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad \text{Streeter (1988: 9) (2-1)}$$

Satuan dalam SI untuk $\mu = \frac{N/m^2}{\frac{(m/s)}{m}} = \frac{N \cdot s}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s}$

dengan:

μ = viskositas dinamik (kg/m.s).

τ = tegangan geser (N/m²).

du/dy = gradien kecepatan $\frac{(m/s)}{m}$

2. Viskositas kinematik

Viskositas kinematik adalah perbandingan antara viskositas dinamik dengan kerapatan fluida.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{Streeter (1988: 10) (2-2)}$$

Satuan dalam SI untuk $\nu = \frac{kg/m.s}{kg/m^3} = \frac{m^2}{s}$

dengan:

ν = viskositas kinematik (m^2/s).

μ = viskositas dinamik ($kg/m.s$).

ρ = kerapatan fluida (kg/m^3).

2.3.2 Kerapatan (*density*)

Kerapatan (*density*) adalah merupakan jumlah atau kuantitas dari suatu zat. Nilai kerapatan (*density*) dapat dipengaruhi oleh temperatur, semakin tinggi temperatur maka kerapatan suatu fluida semakin berkurang karena disebabkan gaya kohesi dari molekul-molekul fluida semakin berkurang. Kerapatan (*density*) dapat dinyatakan dalam dua bentuk:

1. *Mass density* (ρ) satuan dalam SI adalah kg/m^3 . *Mass density* adalah ukuran untuk konsentrasi zat tersebut. Sifat ini ditentukan dengan cara menghitung rasio massa zat yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume bagian tersebut.

Hubungannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Olson (1993:12) (2-3)}$$

dengan:

ρ = *mass density* (kg/m^3).

m = massa fluida (kg).

V = volume fluida (m^3).

2. Berat spesifik / berat jenis (*specific weight*) dengan simbol γ adalah massa jenis dari suatu zat yang dipengaruhi gaya tarik bumi atau gravitasi, satuan dalam SI adalah N/m^3 .

Jadi hubungannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad \text{Olson (1993:12) (2-4)}$$

dengan:

ρ = *massa density* (kg/m^3).

g = percepatan gravitasi ($9,81 m/s^2$).

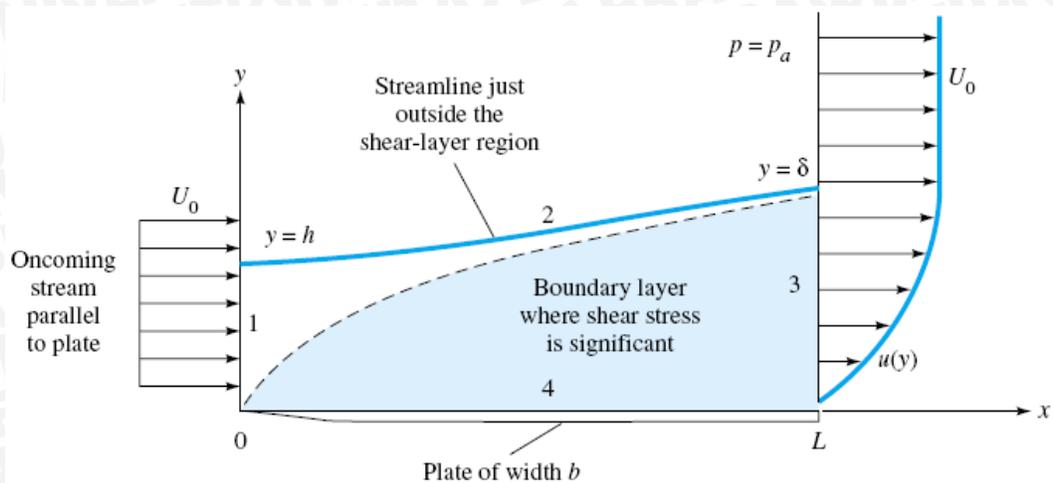
γ = berat jenis (N/m^3).

2.4 Aliran *Inviscid* dan aliran *viscid*

Aliran *inviscid* adalah aliran yang mengasumsikan bahwa tidak ada efek gesekan, atau dapat dikatakan viskositas fluida adalah nol. Sedangkan aliran *viscid* merupakan aliran yang mengikut sertakan efek gesekan pada fluida. Pada dinamika fluida terdapat beberapa permasalahan yang akan lebih mudah diselesaikan dengan mengasumsikan bahwa fluida adalah ideal yang mana tidak memiliki viskositas. Pada aliran fluida yang memiliki viskositas yang sangat rendah, maka alirannya dapat dikatakan sebagai aliran *inviscid*, kecuali pada fluida yang berada pada lapisan batas dimana alirannya masih terpengaruh oleh tegangan geser akibat gesekan antara fluida dengan dinding batas.

2.5 Lapisan Batas

Lapisan batas adalah lapisan tipis fluida pada permukaan benda padat dimana terjadi suatu gradien parameter yang besar. Pada fluida yang mengalir di dalam pipa, terjadi lapisan batas, dimana lapisan tersebut terjadi perubahan kecepatan terhadap jarak dari dinding pipa, karena pengaruh tegangan geser dinding pipa, sehingga terjadi gradien kecepatan. Pada aliran fluida *viscous* yang melalui permukaan suatu benda terdapat suatu daerah dimana aliran fluida masih dipengaruhi gesekan dengan permukaan benda. Pada daerah tersebut kecepatan bertambah, dari nol (pada permukaan benda) hingga mendekati kecepatan aliran utama (kecepatan fluida di dalam lapisan batas telah mencapai 99% kecepatan aliran utama). Semakin mendekati permukaan diam (dinding pipa) kecepatan semakin berkurang sebaliknya semakin menjauh kecepatan aliran semakin bertambah. Daerah ini disebut lapisan batas dengan ketebalan yang sangat tipis. Gradien kecepatan tersebut mempengaruhi tegangan geser dalam aliran fluida *viscous* karena besarnya tegangan geser sebanding dengan gradien kecepatan. Gambar 2.2 menjelaskan tentang *boundary layer*.



Gambar 2.2 Struktur *boundary layer*.
 Sumber : White (1986:142).

Pada gambar 2.2 terlihat ketika berada pada titik 0 fluida memiliki kecepatan yang seragam, karena aliran fluida masih belum terpengaruh oleh gaya pada permukaan dinding. Sedangkan ketika fluida pada titik L terjadi gradien kecepatan, akan tetapi pengurangan kecepatan semakin besar karena jarak fluida mengalir pada dinding semakin jauh, sehingga pengaruh gaya dinding semakin besar terhadap fluida.

2.6 Persamaan-persamaan Dasar Aliran Fluida

Dalam pengaliran air mulai dari sumber air hingga masuk kedalam suatu instalasi perpipaan tidak terlepas dari persamaan-persamaan dasar aliran fluida sebagai berikut :

1. Prinsip kekekalan massa dimana berlaku Persamaan Kontinuitas
2. Prinsip kekekalan energi dimana berlaku Persamaan Bernoulli

2.6.1 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas diperoleh dari hukum kekekalan massa yang menyatakan bahwa untuk aliran yang stasioner massa fluida yang melalui semua bagian dalam arus fluida tiap satuan waktu adalah sama, dan dinyatakan (White, 1986:305) dengan :

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot Q_1 = \rho_2 \cdot Q_2 = \text{konstan} \quad (\text{White, 1986:305}) \quad (2-5)$$

Untuk aliran yang *incompressible* ($\rho = \text{konstan}$) maka persamaan di atas menjadi:

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

dengan:

A = luas penampang (m^2).

V = kecepatan aliran di tiap penampang (m/s).

2.6.2 Persamaan Bernoulli

Akibat dari gerakan fluida maka dapat menimbulkan atau menghasilkan energi, terutama energi mekanik yaitu sebagai akibat dari kecepatan fluida (energi kinetis) dan dari tekanannya (energi potensial) serta elevasi (energi potensial dari elevasi). Dalam mekanika fluida terutama bila memperhatikan sifat-sifat fluida dengan mengabaikan *compressibility*, Streeter (1988:100), maka akan didapatkan energi spesifik atau energi per satuan berat fluida (*head*) sebagai berikut :

$$H = \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + Z \quad (\text{Streeter, 1988:100}) \quad (2-6)$$

dengan:

V = kecepatan (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

p = tekanan pada cairan (N/m^2)

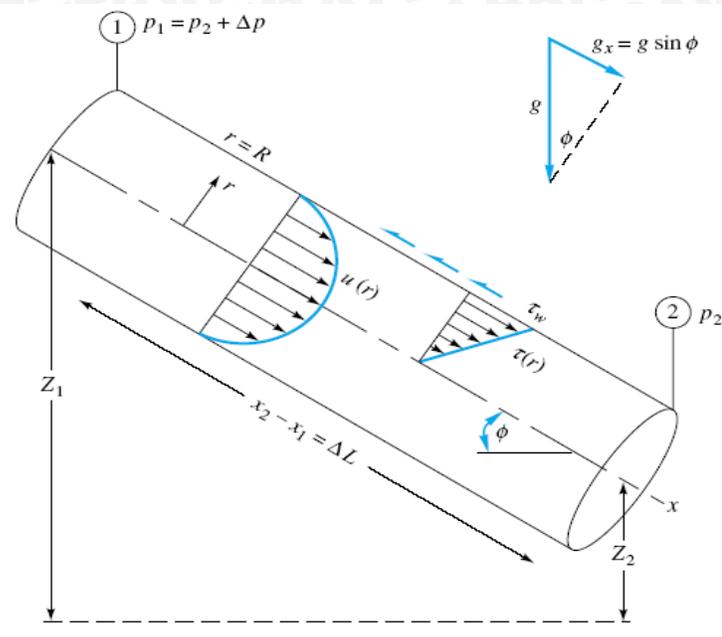
ρ = massa jenis (kg/m^3)

Z = elevasi (m)

H = head (m)

Jika aliran tetap/tenang pada suatu fluida ideal yang terletak antara 2 titik pada seperti pada gambar 2.3 suatu aliran laminar akan mempunyai energi spesifik dari persamaan diatas maka dapat juga dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + Z_2 \quad (\text{Streeter, 1988:101}) \quad (2-7)$$



Gambar 2.3 : Aliran yang telah berkembang penuh antara 2 penampang dalam pipa miring.

Sumber : White (1986:305).

2.7 Aliran Fluida

2.7.1 Klasifikasi Aliran

Banyak kriteria yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan fluida sebagai contoh aliran dapat digolongkan sebagai aliran *steady* dan *unsteady*, satu, dua, atau tiga dimensi, seragam atau tidak seragam laminar atau turbulen dan dapat mampat atau tidak dapat mampat. Namun secara garis besar dapat dibedakan atau dikelompokkan jenis aliran adalah sebagai berikut :

1. Aliran tunak (*steady*)

Suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu sehingga kecepatan konstan pada setiap titik (tidak mempunyai percepatan).

2. Aliran seragam (*uniform*)

Suatu aliran yang tidak terjadi perubahan baik besar maupun arah, dengan kata lain tidak terjadi perubahan kecepatan dan penampang lintasan.

3. Aliran tidak tunak (*unsteady*)

Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

4. Aliran tidak seragam (*non uniform*)

Suatu aliran yang dalam kondisi berubah baik kecepatan maupun penampang berubah.

2.7.2 Tipe-tipe Aliran

a. Aliran Laminer

Aliran laminer didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminer ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan, sehingga aliran laminer memenuhi pasti hukum viskositas Newton yaitu :

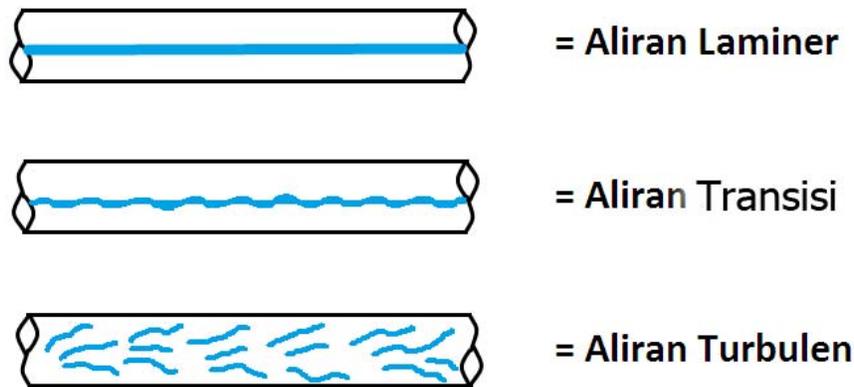
$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad \text{Giles (1996: 99) (2-8)}$$

b. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminer ke aliran turbulen. Ketika kecepatan aliran itu bertambah atau viskositasnya berkurang (dapat disebabkan temperatur meningkat) maka gangguan-gangguan akan terus teramati dan semakin membesar serta kuat yang akhirnya suatu keadaan peralihan tercapai. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran.

c. Aliran turbulen

Didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran. Ilustrasi mengenai aliran laminar,transisi, dan turbulen ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 Eksperimen Ilustrasi Jenis Aliran dengan Guratan Zat Pewarna yang Khas.
Sumber : Donald S. Miller (1978).

2.8 Bilangan Reynold

Bilangan Reynold merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran dinamakan laminar, transisi atau turbulen.

Osborn Reynold telah mempelajari untuk mencoba menentukan bila dua situasi aliran yang berbeda akan serupa secara dinamik bila memenuhi:

1. Kedua aliran tersebut serupa secara geometrik, yakni ukuran-ukuran linear yang bersesuaian mempunyai perbandingan yang konstan.
2. Garis-garis aliran yang bersesuaian adalah serupa secara geometrik, atau tekanan-tekanan dititik-titik yang bersesuaian mempunyai perbandingan konstan.

Dalam menyimak dua situasi aliran yang serupa secara geometrik, Reynold menyimpulkan bahwa aliran-aliran tersebut akan serupa secara dinamik jika persamaan-persamaan diferensial umum yang menggambarkan aliran-aliran tersebut identik. Bentuk persamaan sebagai berikut.

$$\text{Persamaan (1) } Re = \frac{VD\rho}{\mu} \quad \text{Giles (1988: 99) (2-9)}$$

$$\text{Persamaan (2) } \nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2) kedalam persamaan (1) maka didapat :

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{Giles (1988: 99) (2-10)}$$

dengan:

V = kecepatan fluida yang mengalir (m/s).

D = diameter dalam pipa (m).

ρ = massa jenis fluida (kg/m³).

μ = viskositas dinamik fluida (kg/ms) atau (N.s/m²).

ν = viskositas kinematik fluida (m²/s).

2.9 Head

Head atau tinggi tekan dapat didefinisikan sebagai energi per satuan berat fluida.

Kerugian tekanan (*head loss*) dapat dibedakan atas:

1. Kerugian gesekan dalam pipa (*major losses*)

Kerugian gesekan dalam pipa atau *major losses* merupakan kerugian yang disebabkan oleh gesekan aliran dengan pipa sepanjang lintasan. Kerugian ini tergantung pada jenis, panjang serta diameter pipa yang digunakan. Jadi kerugian gesekan. Untuk perhitungan aliran didalam pipa pada umumnya dipakai persamaan *Darcy- Weisbach*.

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad \text{Sularso (2004: 28)} \quad (2-11)$$

dengan:

h_L = kerugian yang disebabkan oleh gesekan aliran fluida dan pipa (m).

f = koefisien gesekan

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

V = kecepatan aliran (m/s)

g = gravitasi (m/s²).

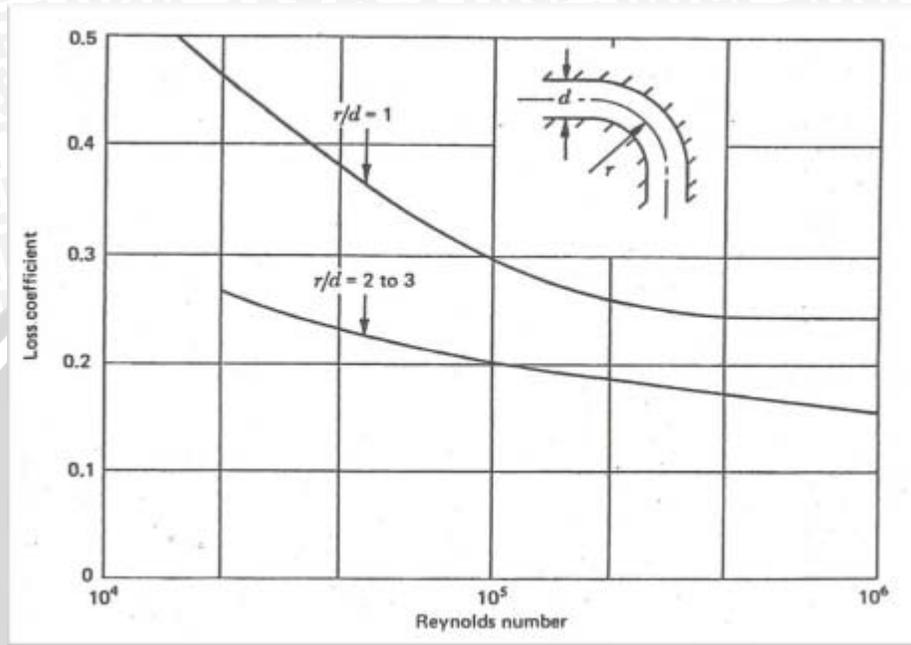
Dalam menghitung kerugian tinggi tekan (h_L), terlebih dahulu tentukan tipe aliran yang terjadi dalam pipa (laminar atau turbulen) dengan cara mencari nilai dari bilangan Reynold (Re).

2. Kerugian pada perubahan geometri (*minor losses*)

Merupakan kerugian yang akan terjadi apabila ukuran pipa, bentuk penampang atau arah aliran berubah. Kerugian ini dapat pula disebut kerugian lokal karena hanya

terdapat pada daerah tertentu saja dalam lintasan aliran fluida seperti ditunjukkan pada gambar 2.5. Secara umum kerugian ini dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$h_L = \zeta_{bend} \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1960:114}) \quad (2-12)$$

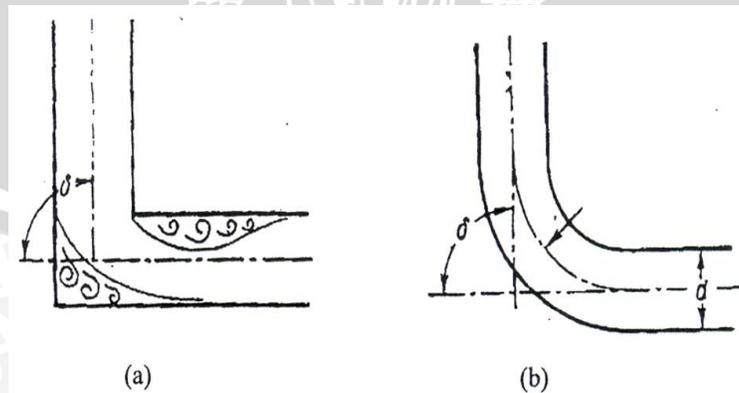


Gambar 2.5 Efek bilangan Reynolds terhadap koefisien kerugian pada elbow 90°.

Sumber: Donald S. Miller (1978).

2.10 Elbow

Sebuah belokan atau *elbow* biasanya menyebabkan kerugian energi yang cukup besar, hal ini disebabkan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi pada belokan. Koefisien kerugian sebuah *elbow* semakin besar dengan $\delta = 90^\circ$ pada gambar 2.6.



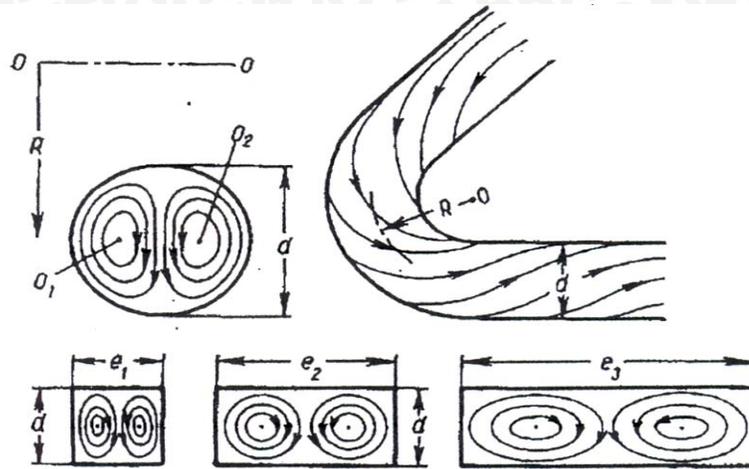
Gambar 2.6 : (a) Belokan siku 90° (b) Belokan *circular* 90°.

Sumber : Nekrasov (1960:113).

Sebuah *elbow* yang mempunyai permukaan halus cenderung mengurangi turbulensi yang menghambat aliran, dibandingkan dengan belokan yang kasar dan siku. Penurunan ini semakin besar seiring dengan semakin besar jari-jari kelengkungan relatif $\frac{R}{d}$ pada belokan, ketika itu cukup besar, turbulensi dapat dihilangkan. Koefisien kerugian belokan tergantung pada rasio jari-jari belokan terhadap diameter pipa $\frac{R}{d}$, sudut belokan (δ) dan bentuk penampang pipa.

Ketika fluida bergerak pada saluran belokan, *Twin-eddy* "aliran sekunder" berkembang di belokan. Ketika fluida cair bergerak sepanjang saluran melengkung kekuatan sentrifugal berpengaruh pada semua partikelnya. Sebagai distribusi kecepatan melintasi bagian yang tidak seragam, menjadi lebih besar di pusat, gaya sentrifugal yang bervariasi dengan kuadrat kecepatan, jauh lebih besar sepanjang tengah aliran dari pada sisi tepi aliran.

Akibat adanya gaya sentrifugal mengembangkan moment sehubungan dengan sumbu θ_1 dan θ_2 seperti pada gambar 2.7, yang menyebabkan cairan memusar sepanjang garis tengah aliran, fluida bergerak dari pusat ke dinding luar belokan pada sepanjang jari-jari kelengkungan, sementara sepanjang sisi dinding bergerak dalam arah yang berlawanan, membentuk aliran terpisah. Gerakan melingkar dari cairan melalui belokan membagi aliran menjadi dua aliran *heliks*. *Twin-eddy* atau aliran sekunder menyebabkan pengeluaran energi secara terus menerus sehingga menyebabkan kerugian *head* yang sebanding dengan momen inersia yang diperoleh ketika aliran sekunder mengalir pada penampang lingkaran.



Gambar 2.7 Profil aliran melewati belokan.
Sumber : Nekrasov (1960:117).

2.11 Tekanan dalam Fluida

Tekanan (p), didefinisikan sebagai gaya persatuan luas, dengan gaya (F) dianggap bekerja tegak lurus terhadap luas permukaan (A):

$$p = \frac{F}{A}$$

Giles (1988: 4) (2-13)

dengan:

p = tekanan dalam fluida (N/m^2).

F = gaya yang bekerja (N).

A = luas permukaan (m^2).

2.12 Hipotesis

Semakin besar diameter *elbow* dengan debit yang konstan maka kecepatan rata-rata aliran fluida menurun, sehingga distribusi tekanan pada tiap titik meningkat akibatnya Δp kecil dan kerugian tekanan (*head loss*) menjadi lebih rendah.