

Mekanika Fluida – II

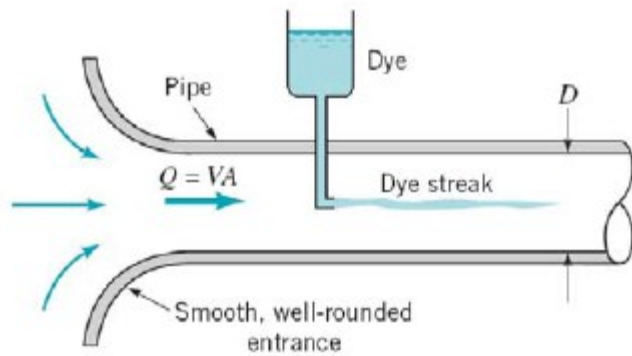
Dosen : Dr.Eng.Supriatno,S.T.,M.T.

Materi Kuliah Mekanika Fluida II :

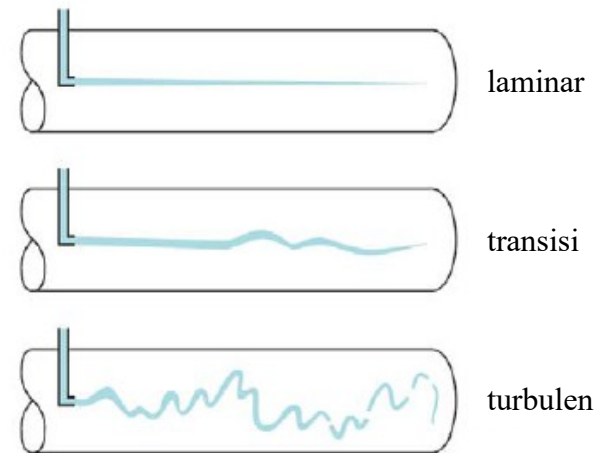
- Analisis Dimensional
- Aliran di Dalam Pipa (Fluida Viskos)
- Distribusi Kecepatan
- Aliran Laminar Berkembang Penuh
- Analisis Aliran di Dalam Pipa
- Diagram Moody
- Kerugian Aliran di Dalam Pipa
- Aliran Esternal
- Lapisan Batas
- Aliran Fluida Kompresibel
- Aliran Isentropik dan Non-Isentropik
- Pengukuran Fluida

Aliran di Dalam Pipa

Pada prakteknya aliran di dalam pipa dibagi menjadi tiga rezim aliran yaitu, aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen. Ketiga rezim aliran tersebut dapat diamati secara visual dengan menggunakan alat pengujian sederhana yang diperkenalkan oleh Reynolds sebagai berikut :



(a)

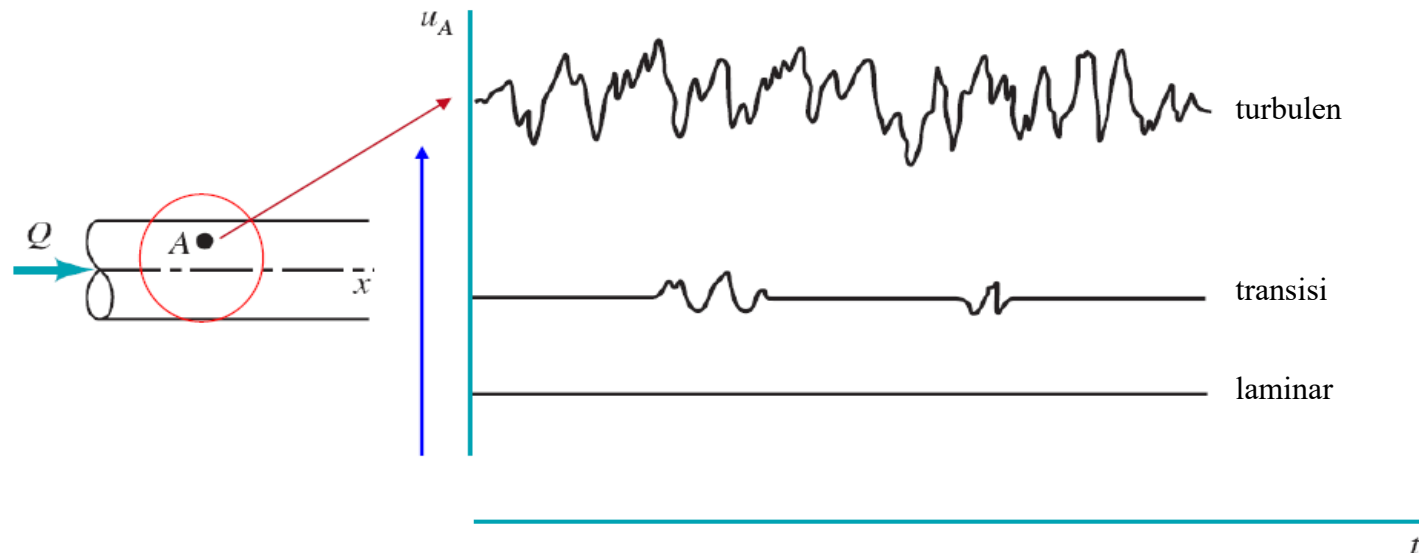


(b)

Gambar 1. Percobaan Reynolds (munson dkk,2002)

Gambar 1 (a) menunjukkan saluran yang keluar dari sebuah bak penampung. Pada saluran tersebut dipasang alat yang memungkinkan cairan berwarna masuk dan bergabung dengan cairan yang sedang mengalir dari penampung. Kecepatan keluar dari bak penampung dibuat sedemikian rupa sehingga kecepatan keluarnya dapat divariasikan. Hasil pengujian menunjukkan hasil seperti pada gambar 1.(b)

- Untuk laju aliran yang kecil, hasil pengujian menunjukkan bahwa pewarna memiliki bentuk aliran yang teratur dan tidak terpecah seperti pada gambar 1 (b) aliran laminar .
- Untuk laju aliran yang sedang, dari hasil pengujian menunjukkan bahwa pewarna berfluktuasi pada jarak dan waktu seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 (b) aliran transisi.
- Untuk laju aliran yang besar, dari hasil pengujian terlihat bahwa bentuk pewarna sudah tidak teratur dan menyebar ke seluruh penampang saluran seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 (b) aliran turbulen.



Gambar 2 menunjukkan hubungan antara kecepatan dan waktu pada sebuah titik di saluran (munson dkk,2002)

Indikator yang digunakan untuk menentukan apakah aliran fluida di dalam pipa memiliki rezim laminar atau turbulen adalah dengan menggunakan bilangan Reynolds.

$$\text{Bilangan Reynolds} = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{Gaya Viscous}}$$

$$R_e = \frac{\rho V D}{\mu}$$

R_e : Bilangan Reynolds, V : kecepatan rata rata, D : diameter, ρ : massa jenis, μ : viskositas

Untuk aliran di dalam pipa :

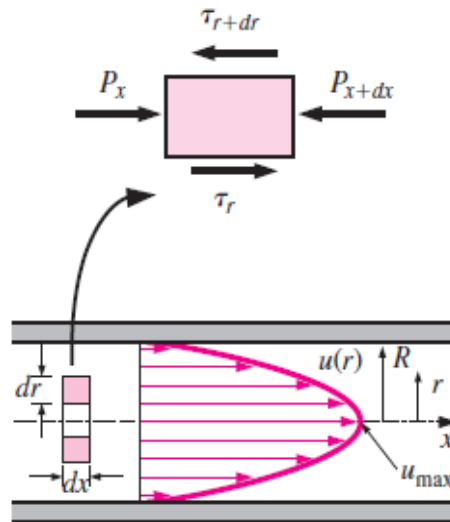
Aliran laminar \longrightarrow $R_e < 2300$

Aliran transisi \longrightarrow $2300 < R_e < 4000$

Aliran turbulen \longrightarrow $R_e > 4000$

Aliran Laminar di Dalam Pipa

Untuk menganalisis aliran laminar, misalkan fluida mengalir pada sebuah pipa seperti pada gambar 3. Pada gambar terdapat diagram benda bebas elemen fluida yang berbentuk cincin dengan diameter luar r , memiliki tebal dr dan panjangnya dx . Elemen fluida tersebut mengalir pada sebuah pipa yang memiliki jari jari dalam pipa sebesar R dan fluida tersebut mengalir dengan kecepatan sebesar $u(r)$.



Gambar 3. Diagram benda bebas aliran berbentuk cincin (cengel dkk, 2018)

Kesetimbangan gaya pada arah aliran pada gambar 3 adalah sebagai berikut:

$$(2\pi r dr P)_x - (2\pi r dr P)_{x+dx} + (2\pi r dr \tau)_r - (2\pi r dr \tau)_{r+dr} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

Jika persamaan (1) dibagi dengan $2 \pi dr dx$ dan dengan menyusunnya kembali menghasilkan :

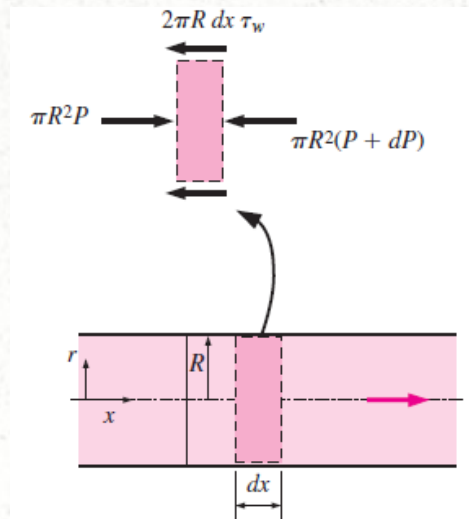
$$r \frac{P_{x+dx} - P_x}{dx} + \frac{(r \tau)_{r+dr} - (r \tau)_r}{dr} = 0 \quad \dots\dots(2)$$

Dengan operasi limit diperoleh

$$r \frac{dP}{dx} + \frac{d(r \tau)}{dr} = 0 \quad \dots\dots(3)$$

Substitusi $\tau = -\mu(du/dr)$ dan $\mu = \text{kostan}$,

$$\frac{\mu}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{du}{dr} \right) = \frac{dp}{dx} \quad \dots\dots(4)$$



Gambar 4. Diagram benda bebas aliran berbentuk piringan (cengel dkk, 2018)

Kesetimbangan gaya pada arah aliran pada gambar 4 adalah sebagai berikut:

$$\pi R^2 P - \pi R^2 (P + dP) - 2 \pi R dx \tau_w = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\frac{dP}{dx} = \frac{-2 \tau_w}{R} \quad \dots\dots\dots(6)$$

Dengan menginteggralkan dua kali persamaan (4) menghasilkan,

$$u(r) = \frac{1}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) r^2 + C_1 \ln r + C_2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

Profil kecepatan $u(r)$ pada gambar 3 diperoleh untuk kondisi batas $du/dr = 0$ pada $r = 0$ dan $u = 0$ pada $r = R$ sehingga diperoleh,

$$u(r) = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad \dots\dots\dots(8)$$

Pada gambar 3 , kecepatan rata rata dicari dengan menggunakan persamaan :

$$V_{avg} = \frac{2}{R^2} \int_0^R u(r) r dr \quad \dots\dots(9)$$

Kecepatan rata-rata diperoleh dengan mensubtitusikan persamaan (8) ke dalam persamaan (9) dan diintegalkan sehingga menghasilkan,

$$V_{avg} = \frac{2}{R^2} \int_0^R u(r) r dr = \frac{-2}{R^2} \int_0^R \frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) r dr = -\frac{R^2}{8\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \quad \dots\dots(10)$$

$$V_{avg} = -\frac{R^2}{8\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \quad \dots\dots(11)$$

Dari persamaan (8) dan (11) diperoleh,

$$u(r) = 2 V_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad \dots\dots(12)$$

Kecepatan maksimum pada tengah pipa yaitu pada $r = 0$, dan jika disubstitusikan ke dalam persamaan (12) diperoleh kecepatan maksimum.

$$u_{max} = 2 V_{avg} \quad \dots\dots(13)$$

Penurunan Tekanan dan Kerugian Head

Analisis penurunan tekanan pada pipa berkaitan dengan daya yang diperlukan bagi pompa atau blower untuk mempertahankan udara tetap mengalir pada pipa. Penurunan tekanan pada pompa yang memiliki panjang L dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{P_2 - P_1}{L} \quad \dots\dots(14)$$

Persamaan (14) di substitusikan ke dalam persamaan (11) menghasilkan :

Untuk aliran laminar :

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{8\mu L V_{avg}}{R^2} \quad \dots\dots(15)$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{32\mu L V_{avg}}{D^2} \quad \dots\dots(16)$$

Dalam prakteknya penurunan tekanan untuk seluruh aliran (laminar, turbulen maupun transisi, aliran pada pipa bulat, aliran pada pipa non bulat, aliran pada pipa kasar maupun halus, pipa horizontal atau pipa miring) berlaku persamaan:

Penurunan tekanan



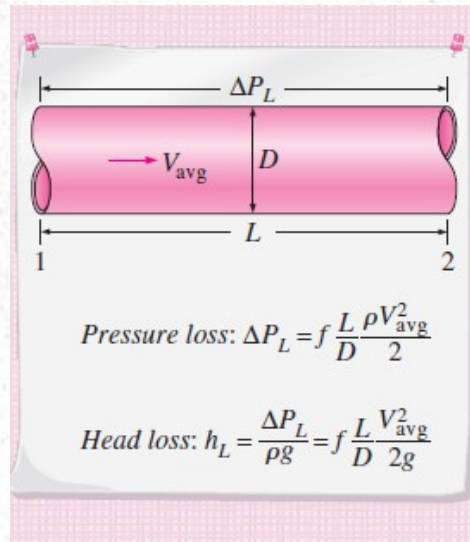
$$\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{avg}^2}{2} \dots\dots\dots(17)$$

$\rho V_{avg}^2 / 2$ adalah tekanan dinamik dan f adalah faktor Darcy

Darcy-Weisbach friction factor



$$f = \frac{8 \tau_w}{\rho V_{avg}^2} \dots\dots\dots(18)$$



Gambar 5. Hubungan antara penurunan tekanan dan kerugian head (cengel dkk, 2018)

Dengan mengacu pada gambar 4 diperoleh :

Untuk pipa bulat aliran laminar berlaku persamaan

$$f = \frac{64 \mu}{\rho D V_{avg}} = \frac{64}{Re} \quad \dots\dots(19)$$

Kerugian head pada pipa dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V_{avg}^2}{2g}$$
$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V_{avg}^2}{2g} \quad \dots\dots(20)$$