

**Materi Kuliah
Fisika Mekanika**

Mekanika Fluida

Dosen :
Tri Surawan, M.Si

**Fakultas Teknik
Universitas Jayabaya**

Yang akan dipelajari

1. Massa Jenis
2. Tekanan dalam Fluida
3. Gaya Apung
4. Aliran Fluida
5. Persamaan Bernoulli
6. Viskositas dan Turbulensi

Pendahuluan

- Dalam kehidupan sehari-hari, kita mengenal tiga wujud zat :
 - padat,
 - gas
 - cair
- Setiap wujud zat memiliki sifat-sifat khusus yang membedakan dengan wujud zat lainnya.

Massa Jenis

- Massa jenis (*densitas*) menyatakan perbandingan massa dan volume. Massa jenis disimbolkan dengan ρ (dibaca: rho) dan diukur dalam satuan kg/m^3 .

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dimana:

ρ = massa jenis (kg/m^3)

m = massa (kg)

V = volume (m^3)

- Setiap jenis zat akan memberikan reaksi terhadap perubahan suhu dan tekanan.
 - Reaksi terhadap perubahan suhu.
 - Untuk jenis benda yang tergolong plastik maka ketika dipanaskan benda tersebut akan menyusut.
 - Untuk jenis benda yang bersifat bukan plastik, ukuran benda akan bertambah ketika benda tersebut dipanaskan.
 - Reaksi terhadap perubahan tekanan.
 - Ketika benda diberi tekanan yang cukup besar maka benda akan mengalami perubahan ukuran, bergantung pada arah tekanan yang diberikan.
 - Perubahan ukuran ini berhubungan dengan perubahan bentuk benda yang disebut sebagai deformasi.

Berat Jenis

- Para ahli di bidang Hidrolik lebih sering menggunakan besaran **berat jenis** yaitu **besaran yang menyatakan perbandingan berat suatu zat terhadap volumenya**.
- Secara matematik, didefinisikan sebagai berikut:

$$w = \frac{mg}{V}$$

Maka

$$w = \rho g \quad \longrightarrow \quad (\text{karena } m = \rho V)$$

dimana:

ρ = massa jenis zat (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

w = berat jenis zat (N/m^3)

- Namun, karena sifat natural gaya berhubungan erat dengan massa (bukan berat), maka variabel massa jenis akan digunakan ketika membahas kasus-kasus secara analitik.

Contoh

Sebuah wadah berukuran panjang 2 m, lebar 2 m dan kedalaman 30 cm diisi air sampai penuh. Berapakah massa air dan berat jenis air tersebut? ($\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$)

Penyelesaian :

Volume air dalam wadah adalah :

$$V = p \times l \times t = (2) (2) (0,3) = 1,2 \text{ m}^3$$

Massa air adalah :

$$m = \rho_{\text{air}} \cdot V = (1000) (1,2) = 1,2 \times 10^3 \text{ kg}$$

Berat Jenis air adalah :

$$w = \rho_{\text{air}} \cdot g = (1000) (9,8) = 1,18 \times 10^4 \text{ N}$$

Massa Jenis Relatif

- Massa jenis relatif menyatakan perbandingan massa jenis suatu benda terhadap massa jenis air.
- Secara matematik, massa jenis relatif dinyatakan sebagai:

$$\rho_{\text{relatif}} = \frac{\rho_{\text{benda}}}{\rho_{\text{air}}}$$

- Dalam beberapa kasus, massa jenis relatif ini sangat berguna ketika menganalisis keadaan benda yang berada di air.

Tekanan

- Tekanan adalah gaya yang bekerja tegak lurus pada suatu permukaan bidang dan dibagi luas permukaan bidang tersebut.

dimana :

F = gaya (N),

A = luas permukaan (m^2)

p = tekanan (N/m^2 = Pascal).

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

- Tekanan hidrostatis adalah tekanan yang disebabkan oleh fluida yang bergerak maupun tak bergerak.

$$P_h = \frac{F_{fluida}}{A} = \frac{m_{fluida} g}{A}$$

- Oleh karena $m = \rho V$, maka tekanan hidrostatis dapat ditulis :

$$P_h = \frac{\rho V g}{A}$$

- Tekanan hidrostatis sebuah titik pada kedalaman tertentu pada sebuah wadah :

$$P_h = \frac{\rho (A h) g}{A} = \rho h g$$

Dimana :

P_h = tekanan hidrostatis (N/m^2), g = percepatan gravitasi (m/s^2),

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3), h = kedalaman titik dr permukaan (m).

A = luas permukaan wadah (m^3)

Contoh soal

Tekanan ukur dalam setiap ban dari empat ban mobil adalah 240 kPa. Jika setiap ban mempunyai "bekas jejak kaki (footprint)" 220 cm², perkirakan massa mobil!

Penyelesaian :

Gaya keempat ban yang menahan ke bawah adalah :

$$F = 4 \text{ PA}$$

Gaya Berat Mobil adalah :

$$F = m g$$

Jadi :

$$mg = 4 \text{ PA}$$

$$m = \frac{4PA}{g} = \frac{4(2.40 \times 10^5 \text{ N/m}^2)(220 \text{ cm}^2)}{(9.80 \text{ m/s}^2)} = \boxed{2.2 \times 10^3 \text{ kg}}$$

Tekanan dalam Fluida

- Gaya penghasil tekanan fluida dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu :
 - Gaya berat merupakan gaya yang dihasilkan percepatan gravitasi terhadap setiap elemen massa zat tersebut.
 - Untuk fluida yang berada dalam keadaan diam gaya tersebut biasanya disebut **gaya hidrostatik**.
 - Gaya permukaan adalah gaya yang bekerja pada permukaan suatu zat fluida terhadap zat lain di sekitarnya.
- Untuk kasus fluida yang berada dalam keadaan diam, besar tekanan yang dikerjakan oleh fluida terhadap benda yang memiliki luas permukaan A adalah:

$$P = \frac{F}{A} + P_o$$

Maka :

$$P = \left(\frac{mg}{A} \right) + P_o \quad (\text{karena } F = m g)$$

Dimana:

P = tekanan total yang bekerja pada benda (N/m^2)

P_o = tekanan dari lingkungan sekitar (udara) (N/m^2)

A = menyatakan luas permukaan benda (m^3).

- Persamaan tersebut berlaku untuk benda yang memiliki ukuran geometri cukup kecil sehingga tiap perbedaan kedalaman fluida dapat kita abaikan.

Tekanan dalam Fluida

Sebuah benda dimasukkan dalam bejana yang berisi fluida. Benda mengalami tekanan dari segala arah oleh gaya yang bekerja pada setiap sisi benda.

Pada keadaan setimbang maka komponen gaya vertikal ke bawah dan ke atas adalah sama besar sehingga :

$$F_{\text{ke atas}} = F_{\text{ke bawah}}$$

$$F_{\text{hidrostatis}} = F_{\text{gravitasi}} + F_{\text{udara}}$$

$$P_2 A = mg + P_1 A$$

Dengan demikian, tekanan pada P_2 lebih besar dibanding tekanan P_1 atau $\Delta P = P_2 - P_1$

Karena benda diam (tidak mengalami percepatan) maka selisih gaya pada arah vertikal adalah nol. Dengan demikian:

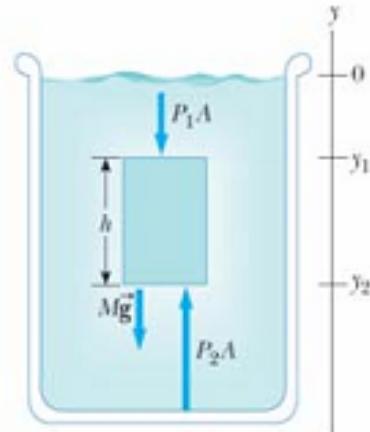
$$F_{\text{atas}} - F_{\text{bawah}} = 0$$

$$(P_1 + \Delta P)A - P_1 A - mg = 0$$

Karena $m = PA(y_2 - y_1)$ maka :

$$(P_1 + \Delta P)A - P_1 A + \rho g A \Delta y = 0$$

$$\Delta P = \rho g \Delta y$$



Nilai m sebanding dengan massa fluida yang dipindahkan sehingga massa jenis yang digunakan adalah massa jenis fluida.

ρ : massa jenis fluida

Tekanan dalam Fluida

Tekanan yang bekerja pada setiap segmen kecil pada benda dalam fluida dapat ditentukan dengan cara menghitung nilai ΔP untuk $\Delta y \rightarrow 0$, sehingga:

$$\Delta y = dy \quad \text{untuk } \Delta y \rightarrow 0$$

$$\Delta P = dP \quad \text{untuk } \Delta P \rightarrow 0$$

$$dP = \rho g dy$$

$$\int_{P_o}^P dP = \int_0^y \rho g dy$$

$$P - P_o = \rho g (y - 0)$$

$$P = P_o + \rho g y$$

- P menyatakan tekanan hidrostatis total yang bekerja pada benda yang berada pada “kedalaman” y pada suatu fluida yang memiliki massa jenis ρ .
- ρ adalah massa jenis fluida, **bukan massa jenis benda yang tercelup**.
- P_o adalah tekanan yang bekerja pada saat $y = 0$ atau tekanan pada permukaan fluida.
- Tekanan atmosfer di permukaan bumi adalah sekitar 1 atm, ekuivalen dengan 101,325 kPa atau $1,013 \times 10^5$ Pa.
- Tekanan hidrostatis semakin besar jika y semakin besar.

ketika seorang penyelam menyelam semakin dalam, maka tekanan yang bekerja pada penyelam tersebut semakin besar.

Contoh

Jika diketahui tekanan udara luar 1 atm dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukanlah tekanan di bawah permukaan danau pada kedalaman:

- a. 10 cm,
- b. 20 cm,
- c. 30 cm.

Penyelesaian :

Diketahui:

$$P_o = 1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 ; g = 10 \text{ m/s}^2,$$

Jawab :

a. Tekanan total di bawah permukaan danau pada kedalaman 10 cm:

$$\begin{aligned} P_h &= P_o + \rho gh \\ &= (1,013 \times 10^5) + (1,000)(10)(0,1) \\ &= 1,023 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

b. Tekanan total di bawah permukaan danau pada kedalaman 20 cm:

$$\begin{aligned} P_h &= P_o + \rho gh \\ &= (1,013 \times 10^5) + (1,000)(10)(0,2) \\ &= 1,033 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

c. Tekanan total di bawah permukaan danau pada kedalaman 30 cm:

$$\begin{aligned} P_h &= P_o + \rho gh \\ &= (1,013 \times 10^5) + (1,000)(10)(0,3) \\ &= 1,043 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Contoh soal

Air di dalam sebuah tabung tingginya 30 cm. Apabila massa jenis air 1.000 kg/m^3 dan percepatan gravitasi di tempat itu dianggap 10 m/s^2 , tentukan:

- a. besar tekanan hidrostatika di dasar tabung, jika tekanan udara luar diabaikan,
- b. tinggi air raksa yang setara dengan tekanan hidrostatika pada soal (a), apabila massa jenis air raksa $13,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Penyelesaian:

Diketahui:

$$h = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}; \rho = 1.000 \text{ kg/m}^3; g = 10 \text{ m/s}^2$$

Jawab:

- a. Tekanan hidrostatika di dasar tabung di cari dari persamaan:

$$P_h = \rho g h = 1.000 \times 10 \times 0,3 = 3.000 \text{ N/m}^2$$

Jadi, tekanan hidrostatika di dasar tabung adalah 3.000 N/m^2 .

- b. Tinggi air raksa

$$P_h = \rho_{\text{raksa}} g h$$

$$h = \frac{P_h}{\rho_{\text{raksa}} g} = \frac{3000}{(13,6 \times 10^3)(10)} = 0,022 \text{ m} = 2,2 \text{ cm}$$

Jadi, tinggi air raksa adalah $0,022 \text{ m}$ atau $2,2 \text{ cm}$.

Pengukuran Tekanan

Alat yang digunakan untuk mengukur tekanan disebut dengan **manometer**.

Prinsip kerja alat ini adalah untuk mengetahui tekanan suatu fluida dengan cara mengukur beda ketinggian dari dua permukaan yang berbeda.

Secara matematis dinyatakan :

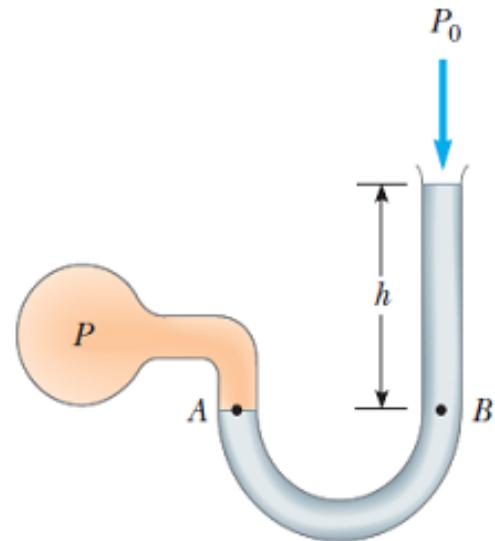
$$P - P_0 = \rho g y$$

Jika $y = h$ maka :

$$h = \frac{(P - P_0)}{\rho g}$$

Perbedaan ketinggian sebesar h disebabkan adanya perbedaan tekanan pada leher tabung U sebelah kiri dengan tekanan pada leher tabung sebelah kanan. Selisih tekanan pada A dan B ($\Delta P = P - P_0$) disebut dengan **tekanan gauge**.

Tekanan gauge dipengaruhi oleh massa jenis fluida yang mengisi tabung tersebut, maka pengukuran tekanan berhubungan dengan jenis fluida yang digunakan untuk mengisi tabung tersebut



Hukum Pascal

- Hukum Pascal menyatakan bahwa :
 - tekanan diberikan pada fluida yang memenuhi sebuah ruangan tertutup, akan diteruskan oleh fluida ke segala arah dengan besar yang sama
- Secara matematis Hukum Pascal dinyatakan sebagai berikut :

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

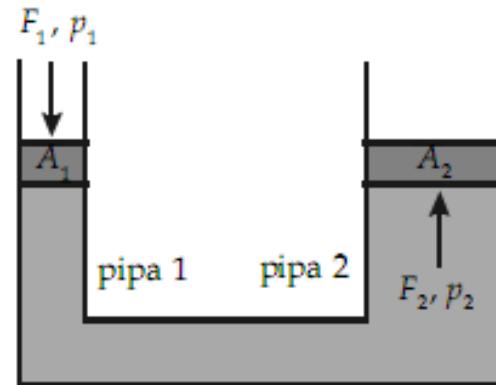
dengan:

F_1 = gaya pada pipa 1,

A_1 = luas penampang pipa 1,

F_2 = gaya pada pipa 2,

A_2 = luas penampang pipa 2.



- Hukum Pascal banyak dimanfaatkan dalam peralatan teknik, antara lain :
 - dongkrak hidrolik,
 - pompa hidrolik,
 - mesin hidrolik pengangkat mobil,
 - mesin pres hidrolik, dan
 - rem hidrolik.

Contoh

Alat pengangkat mobil yang memiliki luas penampang masing-masing sebesar $0,10 \text{ m}^2$ dan $4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ digunakan untuk mengangkat mobil seberat $2 \times 10^4 \text{ N}$. Berapakah besar gaya yang harus diberikan pada penampang yang kecil?

Penyelesaian :

Diketahui:

$$A_1 = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2, A_2 = 0,1 \text{ m}^2, F_2 = 2 \times 10^4 \text{ N.}$$

Jawab

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$F_1 = F_2 \frac{A_1}{A_2} = (2 \times 10^4) \frac{4 \times 10^{-4}}{0,1} = 80 \text{ N}$$

Contoh soal

Pada sebuah pipa U yang kedua ujungnya terbuka mula-mula dimasukkan air, kemudian pada kaki kiri pipa U dimasukkan lagi suatu zat cair setinggi 20 cm yang menyebabkan tinggi permukaan air pada kaki kanan pipa U lebih tinggi 16 cm terhadap permukaan air yang ada pada kaki kiri pipa U. Jika massa jenis air = 1 gr/cm³, maka berapakah massa jenis zat cair tersebut?

Penyelesaian :

Diketahui: $h_1 = 16 \text{ cm}$; $h_2 = 20 \text{ cm}$; $\rho_1 = 1 \text{ gr/cm}^3$

Jawab:

$$P_a = P_b$$

$$P_o + \rho_2 \cdot g \cdot h_2 = P_o + \rho_1 \cdot g \cdot h_1$$

$$\rho_2 \cdot h_2 = \rho_1 \cdot h_1$$

$$\rho_2 \cdot 20 = 1 \cdot 16$$

$$\rho_2 = 0,8 \text{ gr/cm}^3$$

Hukum Archimedes

- Hukum Archimedes menyatakan bahwa :
 - Gaya hidrostatis yang dihasilkan oleh fluida sebanding dengan massa fluida yang dipindahkan
- Secara matematis dapat dituliskan :

$$F_h = \rho_{\text{fluida}} g V_{\text{tercelup}}$$

Dimana:

F_h = gaya hidrostatik yang dihasilkan (N),

ρ_{fluida} = massa jenis fluida (kg/m^3),

g = percepatan gravitasi bumi ($9,8 \text{ m/s}^2$),

V_{tercelup} = volume benda yang tercelup pada fluida (m^3)

- Aplikasi Hukum Archimedes antara lain :
 - Hidrometer = alat untuk mengukur massa jenis zat cair.
 - kapal laut,
 - kapal selam,
 - balon udara,
 - galangan kapal
 - dll

Contoh

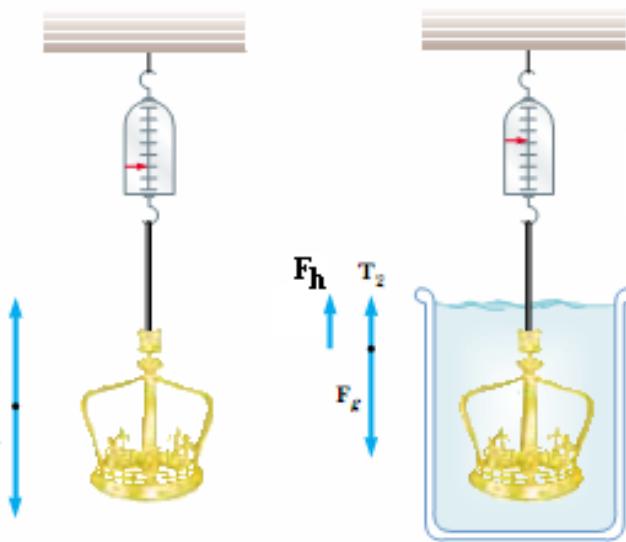
Memeriksa kemurnian suatu benda, apakah terbuat dari emas murni atau bukan.

Pada saat digantung di udara terbaca 7,84 N :

$$\Sigma F = 0$$

$$T_1 - F_g = 0$$

$$F_g = T_1 = 7,84 \text{ N}$$



Pada saat digantung di dalam air terbaca 6,84 N :

$$\Sigma F = 0$$

$$F_h + T_2 - F_g = 0$$

$$F_h = F_g - T_2$$

$$= 7,84 - 6,84$$

$$= 1 \text{ N}$$

Massa jenis benda adalah :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{benda}} &= \frac{m_{\text{benda}}}{V_{\text{benda}}} = \frac{m_{\text{benda}} g}{V_{\text{benda}} g} = \frac{F_g}{V_{\text{benda}} g} \\ &= \frac{7,84}{(1,2 \times 10^{-4})(9,8)} \\ &= 7,84 \times 10^3 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Menurut Hukum Archimedes :

$$F_h = \rho_{\text{air}} g V_{\text{benda}}$$

$$V_{\text{benda}} = \frac{F_h}{\rho_{\text{air}} g} = \frac{1}{(1000)(9,8)} = 1,02 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Menurut tabel, massa jenis emas murni adalah $19,3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Jadi, benda yang diperiksa tersebut bukan terbuat dari emas murni

Contoh

Sebuah batu memiliki berat 30 N jika ditimbang di udara. Jika batu tersebut ditimbang di dalam air beratnya 21 N. Jika massa jenis air adalah 1000 kg/m³, tentukanlah:

- gaya ke atas yang diterima batu,
- volume batu, dan
- massa jenis batu tersebut.

Penyelesaian :

Diketahui:

$$w_{\text{di udara}} = 30 \text{ N}, w_{\text{di air}} = 21 \text{ N}, \text{ dan } \rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

- a. Gaya ke atas yang diterima batu adalah :

$$\Sigma F = 0$$

$$w_{\text{di air}} + F_{\text{ke atas}} - w_{\text{di udara}} = 0$$

$$21 \text{ N} + F_{\text{ke atas}} - 30 \text{ N} = 0$$

$$F_{\text{ke atas}} = 30 - 21 = 9 \text{ N}$$

- b. Volume batu adalah :

$$F_{\text{ke atas}} = \rho_{\text{air}} V_{\text{batu}} g$$

$$9 \text{ N} = (1000) (V_{\text{batu}}) (9,8)$$

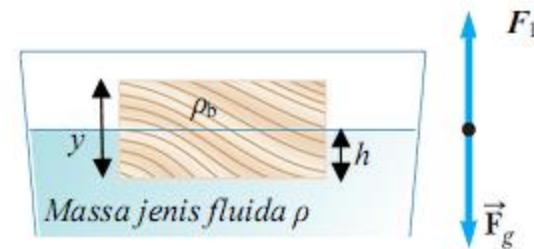
$$V_{\text{batu}} = 9,18 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

- c. Massa jenis batu adalah :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{batu}} &= \frac{m_{\text{batu}}}{V_{\text{batu}}} \\ &= \frac{3,1}{9,18 \times 10^{-4}} \\ &= 0,33 \times 10^4 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Mengapung, Melayang dan Tenggelam

Sebuah balok kayu dimasukkan pada sebuah bejana yang berisi air. Pada kayu bekerja gaya-gaya antara lain gaya gravitasi, gaya tekanan oleh atmosfer dan gaya dorong ke atas oleh air (F_h).



Gaya ke atas :

$$F_h = (P_0 + \rho gh)A$$

Gaya ke bawah :

$$F_b = m_b g + P_0 A$$

Pada keadaan kayu diam maka jumlah total gaya yang bekerja pada balok tersebut adalah nol, maka gaya ke atas harus sama dengan gaya ke bawah.

$$F_h = F_b$$

$$(P_0 + \rho gh)A = m_b g + P_0 A$$

$$\rho g h A = m_b g$$

$$\rho g h A = \rho_b g A y \quad (\text{karena } m_b = \rho_b A y)$$

$$\frac{\rho_b}{\rho} = \frac{h}{y}$$

Jika : $\frac{\rho_b}{\rho} = \frac{h}{y} < 1$, maka benda akan **mengapung** pada air.

(massa jenis benda $\rho_{\text{benda}} <$ massa jenis air ρ_{air})

$\frac{\rho_b}{\rho} = \frac{h}{y} = 1$, maka benda akan **melayang** pada air.

(massa jenis benda $\rho_{\text{benda}} =$ massa jenis air ρ_{air})

$\frac{\rho_b}{\rho} = \frac{h}{y} > 1$, maka benda akan **tenggelam** dalam air.

(massa jenis benda $\rho_{\text{benda}} >$ massa jenis air ρ_{air})

Karena $y > h$ maka sebagian volume benda tercelup dalam fluida sedangkan sebagian yang lain berada di permukaan.

$\left(\frac{h}{y}\right)$ = menyatakan rasio benda yang tercelup di dalam fluida.

Contoh

Sebuah benda memiliki volume 20 m^3 dan massa jenisnya = 800 kg/m^3 . Jika benda tersebut dimasukkan ke dalam air yang massa jenisnya 1.000 kg/m^3 , tentukanlah volume benda yang berada di atas permukaan air.

Penyelesaian :

Diketahui:

$$V_{\text{benda}} = 20 \text{ m}^3,$$

$$\rho_{\text{benda}} = 800 \text{ kg/m}^3,$$

$$\rho_{\text{air}} = 1.000 \text{ kg/m}^3$$

Jawab :

Volume air yang dipindahkan = volume benda yang tercelup

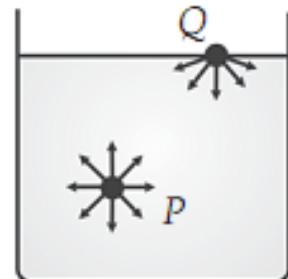
$$\frac{\rho_{\text{air}} V_{\text{bagian tercelup}}}{(1000 \text{ kg/m}^3)} = \frac{\rho_{\text{benda}} V_{\text{benda}}}{(800 \text{ kg/m}^3)}$$
$$V_{\text{bagian tercelup}} = 16 \text{ m}^3$$

Jadi, volume benda yang berada di atas permukaan air adalah :

$$V_{\text{muncul}} = 20 \text{ m}^3 - 16 \text{ m}^3 = 4 \text{ m}^3$$

Tegangan Permukaan pada Fluida

- Tegangan permukaan suatu cairan berhubungan dengan garis gaya tegang yang dimiliki permukaan cairan tersebut.
- Gaya tegang ini berasal dari gaya tarik kohesi antarmolekul cairan.
 - Gaya tarik-menarik antarpartikel **sejenis** disebut **kohesi**,
 - Gaya tarik-menarik antarpartikel **tidak sejenis** disebut **adhesi**.
- Perhatikan gambar di samping :
 - Molekul P mengalami gaya kohesi dengan molekul-molekul disekitarnya dari segala arah, sehingga molekul ini berada pada keseimbangan (**resultan gaya nol**).
 - Molekul Q hanya mengalami kohesi dari partikel di bawah dan di sampingnya saja. Sehingga resultan gaya kohesi pada molekul ini ke arah bawah (**tidak nol**).
- Pada umumnya nilai tegangan permukaan zat cair berkurang dengan adanya kenaikan suhu.



Contoh :

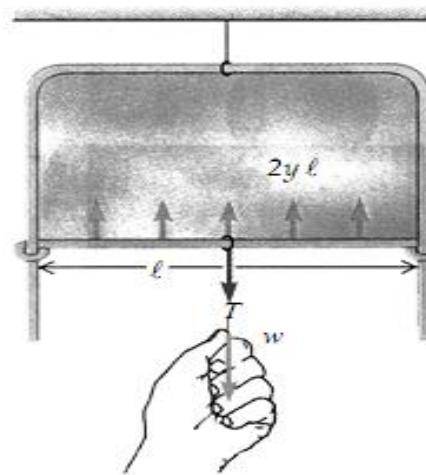
- Tegangan permukaan Air pada 0°C adalah 0,076 N/m
- Tegangan permukaan Air pada 20°C adalah 0,072 N/m
- Tegangan permukaan Air pada 100°C adalah 0,059 N/m

Tegangan Permukaan pada Fluida

- Tegangan permukaan fluida (γ) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya permukaan dan panjang permukaan yang tegak lurus gaya.
- Satuan tegangan permukaan adalah N/m
- Secara matematis tegangan permukaan fluida (γ) dinyatakan :

$$F = w + T$$

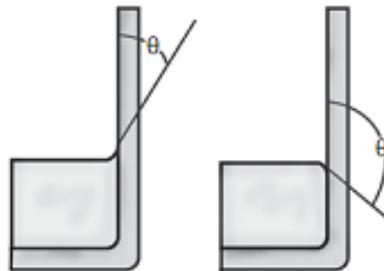
$$\gamma = \frac{F}{2\ell}$$



- Tetesan zat cair atau fluida cenderung untuk memperkecil luas permukaannya, karena adanya tegangan permukaan.

Meniskus

- Meniskus adalah kelengkungan permukaan suatu zat cair di dalam tabung.



- Sudut kontak θ adalah sudut yang dibentuk antara permukaan zat cair dengan permukaan dinding pada titik persentuhan zat cair dengan dinding.
- Berdasarkan sudut kontaknya, meniskus ada 2 macam :

- Meniskus cekung

Sudut kontak untuk meniskus cekung lebih kecil dari 90° .

$$(\theta < 90^\circ)$$

Contoh :

- terjadi pada permukaan air di dalam bejana kaca

- Meniskus cembung

Sudut kontak untuk meniskus cembung lebih besar dari 90° .

$$(\theta > 90^\circ)$$

Contoh :

- terjadi pada permukaan raksa di dalam bejana kaca

Kapilaritas

- **Kapilaritas** adalah peristiwa naik atau turunnya permukaan zat cair pada pipa kapiler.
- Naik atau turunnya permukaan zat cair dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$h = \frac{2 \gamma \cos \theta}{\rho g r}$$

Dimana :

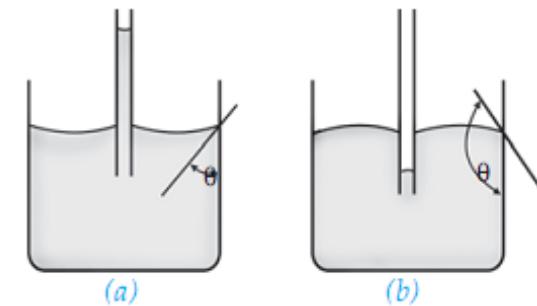
h = kenaikan atau penurunan zat cair (m),

γ = tegangan permukaan (N/m),

g = percepatan gravitasi (m/s^2),

r = jari-jari tabung/pipa kapiler (m).

- Bentuk permukaan cairan di dalam pipa kapiler bergantung pada sudut kontak (θ) cairan tersebut.
 - Permukaan cairan akan naik jika $\theta < 90^\circ$
 - Permukaan cairan akan turun jika $\theta > 90^\circ$.



Contoh

Suatu tabung berdiameter 0,4 cm jika dimasukkan secara vertikal ke dalam air, sudut kontaknya 60° . Jika tegangan permukaan air 0,5 N/m dan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, tentukanlah kenaikan air pada tabung.

Penyelesaian :

Diketahui:

$$d_{\text{tabung}} = 0,4 \text{ cm}, \quad r_{\text{tabung}} = 0,2 \text{ cm} = 0,2 \times 10^{-2} \text{ m}$$
$$\theta = 60^\circ, \quad \gamma = 0,5 \text{ N/m}, \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2, \quad \rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

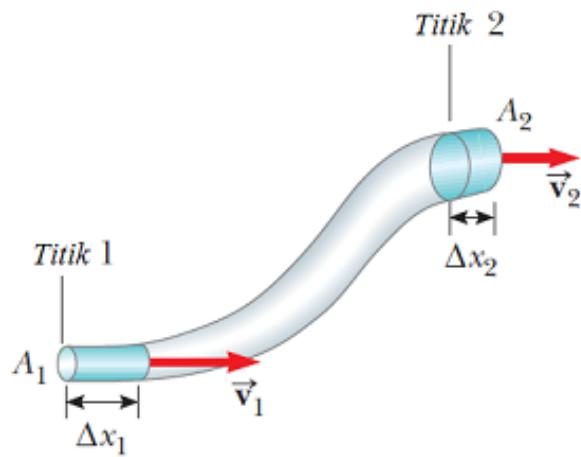
Jawab :

$$h = \frac{2 \gamma \cos \theta}{\rho g r}$$
$$= \frac{2(0,5) \cos 60^\circ}{(1000)(9,8)(0,2 \times 10^{-2})}$$
$$= 0,025 \text{ m}$$
$$= 2,5 \text{ cm}$$

Dinamika Fluida

- Dinamika Fluida adalah mempelajari fluida yang bergerak.
 - Salah satu cabang ilmu Fisika yang berkecimpung dalam bidang fluida bergerak adalah **hidrodinamika**.
- Contoh fluida yang bergerak antara lain :
 - angin, aliran air di sungai, ombak di laut, aliran air pada keran, sirkulasi darah dan dsb.
- Gerak fluida sering disebut **mengalir**.
 - **Aliran laminar** terjadi jika suatu fluida yang mengalir setiap elemen fluida tersebut memiliki kecepatan yang seragam.
 - **Aliran turbulen** adalah aliran fluida dimana pada fluida tersebut terjadi fluktuasi (perubahan) tekanan dan kecepatan.
- Jenis fluida yang mengalir dianggap aliran laminar dengan beberapa asumsi antara lain:
 - Fluida tidak mengalami pergerakan rotasi.
 - Temperatur fluida konstan.
 - Kecepatan fluida dan tekanan yang bekerja padanya tidak bergantung waktu (konstan).
 - Tidak ada gesekan yang timbul selama fluida bergerak.
 - Fluida memiliki sifat non-kompresibel (fluida dengan massa jenis konstan).

Persamaan Kontinuitas



Fluida mengalir pada sebuah pipa yang kedua ujungnya memiliki luas penampang yang berbeda.

Dalam selang waktu Δt , fluida pada luas penampang A_1 bergerak dengan kecepatan v_1 menempuh lintasan sepanjang Δx_1 . Dalam selang waktu yang sama, pada luas penampang A_2 fluida bergerak dengan kecepatan v_2 menempuh lintasan sepanjang Δx_2 .

Volume air yang melewati Δx_1 adalah $V_1 = A_1 \Delta x_1$ dan $\Delta x_1 = v_1 \Delta t$, maka :

$$V_1 = A_1 v_1 \Delta t$$

Volume air yang melewati Δx_2 adalah $V_2 = A_2 \Delta x_2$ dan $\Delta x_2 = v_2 \Delta t$, maka :

$$V_2 = A_2 v_2 \Delta t$$

Misal massa air yang melewati penampang A_1 dan A_2 dalam selang Δt adalah sama, maka :

$$m_1 = m_2$$

$$\rho V_1 = \rho V_2$$

$$\rho A_1 v_1 \Delta t = \rho A_2 v_2 \Delta t$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Besaran $A_1 v_1$ dan $A_2 v_2$ adalah jumlah volume yang mengalir tiap detik yang disebut dengan **debit (Q)**.

Contoh

Sebuah pipa lurus memiliki dua macam penampang, masing-masing dengan luas penampang 200 mm^2 dan 100 mm^2 . Pipa tersebut diletakkan secara horizontal, sedangkan air di dalamnya mengalir dari penampang besar ke penampang kecil. Jika kecepatan arus di penampang besar adalah 2 m/s , tentukanlah:

- kecepatan arus air di penampang kecil, dan
- volume air yang mengalir setiap menit.

Penyelesaian :

Diketahui:

$$A_1 = 200 \text{ mm}^2, A_2 = 100 \text{ mm}^2, \text{ dan } v_1 = 2 \text{ m/s.}$$

Jawab :

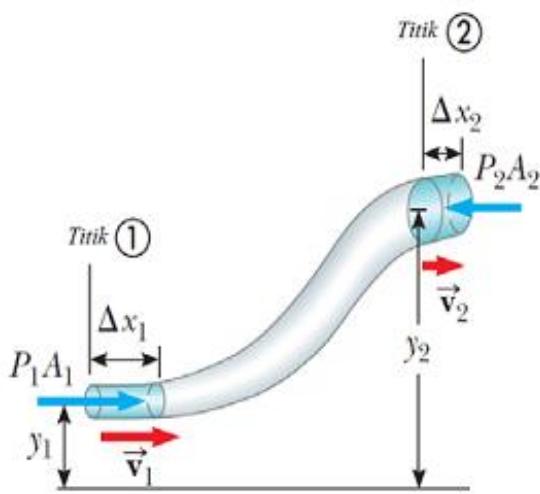
- Kecepatan arus air di penampang kecil adalah :

$$\begin{aligned} A_1 v_1 &= A_2 v_2 \\ (200 \text{ mm}^2) (2 \text{ m/s}) &= (100 \text{ mm}^2) v_2 \\ v_2 &= 4 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Volume air yang mengalir setiap menit

$$\begin{aligned} V &= A v t \\ &= (200 \times 10^{-6} \text{ m}^2) (2 \text{ m/s}) (60 \text{ s}) \\ &= 24 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \\ &= 2,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Persamaan Bernoulli



Titik 1 di ketinggian y_1 diukur relatif terhadap tanah sedangkan titik 2 berada pada ketinggian y_2 .

Fluida mengalir dari titik 1 ke titik 2 dimana pada titik 1 bekerja tekanan sebesar P_1 , sedangkan pada titik 2 bekerja tekanan sebesar P_2 .

Dengan kecepatan alir masing-masing v_1 dan v_2 , fluida menempuh lintasan alir sebesar Δx_1 pada titik 1 dan Δx_2 pada titik 2.

Pada titik 1 bekerja gaya sebesar $F_1 = P_1 A_1$, searah dengan arah aliran fluida.

Pada titik 2 bekerja gaya sebesar $F_2 = P_2 A_2$, berlawanan dengan arah aliran fluida.

Gaya F_1 dan F_2 mendorong fluida sejauh Δx_1 dan Δx_2 dan menghasilkan kerja masing-masing sebesar:

$$W_1 = F_1 \Delta x_1 = P_1 A_1 v_1 \Delta t$$

$$W_2 = -F_2 \Delta x_2 = -P_2 A_2 v_2 \Delta t$$

Selisih kerja yang dihasilkan adalah :

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 + W_2 \\ &= (P_1 A_1 v_1 \Delta t) + (-P_2 A_2 v_2 \Delta t) \\ &= (P_1 - P_2) A v \Delta t\end{aligned}$$

Untuk selang waktu Δt yang sangat kecil dapat dituliskan sebagai:

$$\Delta W = (P_1 - P_2) A v dt$$

Persamaan Bernoulli

Perubahan energi potensial fluida adalah :

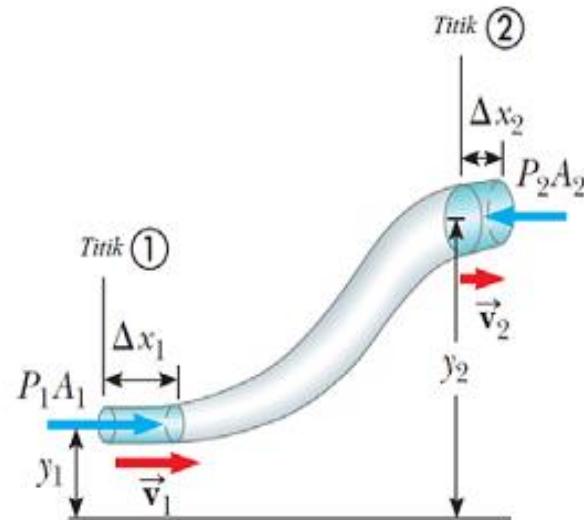
$$\Delta EP = m g \Delta y \rightarrow (m = \rho A v dt)$$

$$\Delta EP = \rho A v dt g (y_2 - y_1)$$

Perubahan energi kinetik ΔEK adalah :

$$\Delta EK = \frac{1}{2} m (\Delta v)^2$$

$$\Delta EK = \frac{1}{2} \rho A v dt (v_2^2 - v_1^2)$$



Dengan menerapkan konsep Newton dan kekekalan energi, selisih kerja yang dihasilkan sistem sama dengan perubahan energi mekanik sistem sehingga

$$\Delta W = \Delta EP + \Delta EK$$

$$(P_1 - P_2) A v dt = \rho A v dt g (y_2 - y_1) + \frac{1}{2} \rho A v dt (v_2^2 - v_1^2)$$

$$(P_1 - P_2) = \rho g (y_2 - y_1) + \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

$$P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \rightarrow (\text{Persamaan Bernoulli})$$

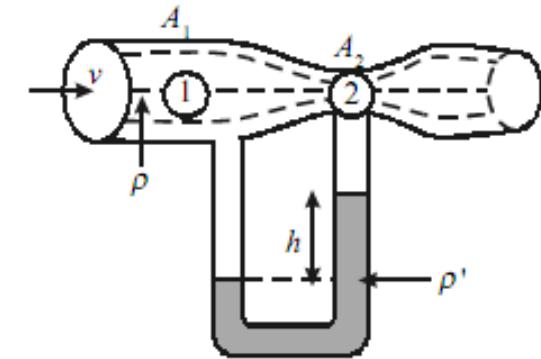
Jika fluida mengalir dalam sebuah pipa lurus maka persamaan pada ruas kiri akan sama dengan persamaan pada ruas kanan.

$$p + \rho gy + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{konstan}$$

Penerapan Persamaan Bernoulli

Alat Ukur Tabung Venturi

Suatu zat cair dengan massa jenis ρ mengalir melalui sebuah pipa dengan luas penampang A_1 pada daerah (1). Pada daerah (2), luas penampang mengecil menjadi A_2 . Suatu tabung manometer (pipa U) berisi zat cair lain (raksa) dengan massa jenis ρ' dipasang pada pipa.



Kecepatan aliran zat cair di dalam pipa dapat diukur dengan persamaan :

$$v = A_2 \sqrt{\frac{2(\rho' - \rho)gh}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

Dimana :

v = Kecepatan aliran zat cair (m/s)

A_1 = luas penampang daerah 1 (m^2)

A_2 = luas penampang daerah 2 (m^2)

ρ = massa jenis zat cair yang diukur (kg/m^3)

ρ' = massa jenis raksa (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

h = selisih ketinggian raksa (m^2)

Contoh

Pipa venturi meter yang memiliki luas penampang masing-masing $8 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ dan $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ digunakan untuk mengukur kelajuan air. Jika beda ketinggian air raksa di dalam kedua manometer adalah 0,2 m dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukanlah kelajuan air tersebut ($\rho_{\text{raksa}} = 13.600 \text{ kg/m}^3$).

Penyelesaian :

Diketahui:

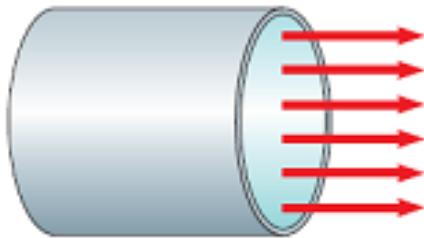
$$A_1 = 8 \times 10^{-2} \text{ m}^2, A_2 = 8 \times 10^{-3} \text{ m}^2, h = 0,2 \text{ m}, \text{ dan } g = 10 \text{ m/s}^2$$

Jawab :

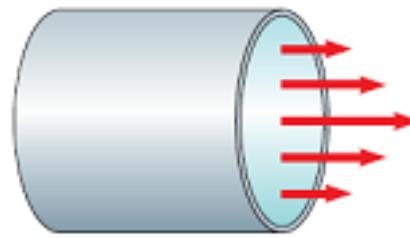
$$\begin{aligned} v &= A_2 \sqrt{\frac{2(\rho' - \rho)gh}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}} \\ &= 5 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{2(13600 - 1000)(10)(0,2)}{\rho(1000 \{(8 \times 10^{-2})^2 - (5 \times 10^{-3})^2\})}} \\ &= 0,44 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Viskositas

- Fluida memiliki sifat kekentalan yang disebut **viskositas**.
- Pada saat fluida bergerak melalui sebuah pipa maka akan terjadi gesekan antara fluida dan dinding pipa yang menyebabkan kecepatan aliran fluida pada setiap segmen yang diukur secara konsentris akan berbeda-beda.



Sistem fluida laminar ideal. Tanda panah sejajar menunjukkan kecepatan alir fluida yang sama besar



Aliran fluida laminar yang memperhatikan gaya gesek. Kecepatan alir fluida yang bergesekan dengan dinding pipa cenderung memiliki kecepatan yang lebih rendah. Aliran fluida ini dinamakan **aliran Poiseuille**.

Sifat kekentalan fluida (viskositas) itulah yang menyebabkan munculnya gesekan pada fluida dengan dinding pipa.

Viskositas

- Hambatan oleh viskositas dipengaruhi oleh suatu variabel yang disebut **koefisien viskositas (η)** → dibaca Eta .
- Satuan koefisien viskositas (η) adalah **N s/m²**.
- Setiap fluida mempunyai nilai η yang berbeda-beda.
 - Semakin besar nilai η maka semakin besar pula gesekan yang dihasilkan oleh fluida.
- Bila fluida mengalir dalam pipa, maka gaya yang dikerjakan fluida pada dinding pipa sebanding dengan η , luas bidang kontak dan berbanding terbalik terhadap ketebalan fluida.
- Secara matematis dinyatakan :

$$F = \eta \frac{A v}{d}$$

Dimana:

F = gaya yang bekerja pada pipa (N),

η = koefisien viskositas fluida (N s/m²),

A = luas penampang bidang kontak fluida dan pipa (m²),

v = kecepatan aliran fluida (m/s),

d = tebal fluida (jarak antar dinding pipa) (m).

Viskositas

- Dengan adanya viskostas fluida maka menyebabkan energi fluida **tidak sama** pada keadaan akhir dan awalnya.
- Energi yang hilang ini disebabkan oleh gesekan.
- Perubahan energi dinyatakan dalam bentuk penurunan tekanan.

$$\Delta P = P_1 - P_2 \equiv Q f_R$$

Dimana

Q = debit fluida

f_R = faktor resistansi akibat gesekan.

- Untuk fluida laminar yang mengalir melalui pipa yang memiliki ukuran jari-jari sama di setiap segmen, nilai f_R adalah:

$$f_R = \frac{8 \eta L}{\pi r^2}$$

Dimana :

L = panjang pipa yang dilalui fluida

r = jari-jari penampang pipa

- Maka, penurunan tekanan dapat ditulis menjadi :

$$\Delta P = Q \left(\frac{8 \eta L}{\pi r^2} \right) = \frac{Q 8 \eta L}{\pi r^2} \quad \rightarrow \quad (\text{Persamaan Poiseuille})$$

Contoh soal

Berapa beda tekanan yang terjadi antara dua ujung bagian pipa sepanjang 1,9 km, dengan diameter 29 cm, jika dilewati minyak ($\rho = 950 \text{ kg/m}^3$, $\eta = 0,20 \text{ Pa.s}$) dengan laju $450 \text{ cm}^3/\text{s}$?

Penyelesaian :

Menurut persamaan Poiseuille :

$$Q = \frac{\pi R^4 (P_2 - P_1)}{8\eta L}$$

Maka, perbedaan tekanan pada kedua ujung pipa adalah :

$$\begin{aligned}(P_2 - P_1) &= \frac{8Q\eta L}{\pi R^4} \\&= \frac{8(450 \text{ cm}^3/\text{s})(10^{-6} \text{ m}^3/\text{cm}^3)(0.20 \text{ Pa.s})(1.9 \times 10^3 \text{ m})}{\pi (0.145 \text{ m})^4} \\&= 985.1 \text{ Pa}\end{aligned}$$

Turbulensi

- Jika kecepatan aliran fluida sangat besar maka sifat laminaritas fluida akan hilang.
 - Fluida dapat mengalami rotasi dan gerak tak berpola lainnya.
- Sifat turbulensi ditandai dengan munculnya gerak rotasi pada fluida.
 - Sifat turbulensi salah satunya disebabkan jika aliran fluida mencapai batas pola aliran laminar.
- Karakter aliran fluida dinyatakan dengan sebuah bilangan tak berdimensi yang disebut **bilangan Reynolds (N_R)**.

$$N_R = \frac{2 r \rho v}{\eta}$$

Dimana :

v = kecepatan aliran fluida

ρ = rapat jenis fluida

r = jari-jari penampang

η = viskositas fluida.

- Jika :
 - bilangan $N_R < 2.000$ maka aliran fluida yang terjadi cenderung laminar
 - bilangan $N_R > 3.000$ aliran fluida yang terjadi adalah aliran turbulen.
 - bilangan N_R di antara 2.000 dan 3.000, berdasarkan hasil eksperimen, menunjukkan perilaku yang cenderung tidak stabil (Aliran fluida dapat berubah-ubah dari laminar ke turbulen dan sebaliknya).

Terima Kasih