

Hidrodinamika



25

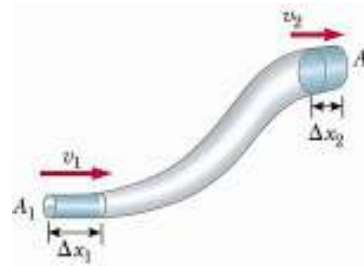
Sifat Fluida Ideal

- ▶ Nonviskos
 - Tidak ada gesekan internal antar lapisan dalam fluida
- ▶ Incompressible
 - Kerapatannya konstan
- ▶ Steady
 - Kecepatan, kerapatan dan tekanan tidak berubah terhadap waktu
- ▶ Bergerak tanpa adanya turbulen
 - Tidak ada arus eddy yang muncul

26

Persamaan Kontinuitas

- $A_1 v_1 = A_2 v_2$
- Perkalian antara luas penampang pipa dengan laju fluida adalah konstan
 - Laju fluida tinggi ketika fluida di pipa yang luas penampangnya sempit dan laju fluida rendah ketika fluida di tempat yang luas penampangnya besar
- Av dinamakan *laju alir*



27

Strategi Penyelesaian soal

1. Mulailah dengan mengidentifikasi dengan jelas titik 1 dan 2 berdasarkan persamaan Bernoulli.
2. Buat daftar besaran yang diketahui dan besaran yang tidak diketahui dalam persamaan (14-21).

$$p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (\text{Bernoulli's equation})$$

3. Dalam beberapa soal dibutuhkan persamaan kontinuitas (14-14) untuk mendapatkan hubungan antara dua laju

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (\text{continuity equation, incompressible fluid})$$

dan atau menggunakan persamaan 15-15 untuk menemukan laju aliran volume.

$$\frac{dV}{dt} = Av \quad (\text{volume flow rate})$$

4. Selalu konsisten dalam satuan pokok

28

Example 14.7 Niagara Falls

Each second, $5\,525\text{ m}^3$ of water flows over the 670-m -wide cliff of the Horseshoe Falls portion of Niagara Falls. The water is approximately 2 m deep as it reaches the cliff. What is its speed at that instant?

Solution The cross-sectional area of the water as it reaches the edge of the cliff is $A = (670\text{ m})(2\text{ m}) = 1\,340\text{ m}^2$.

The flow rate of $5\,525\text{ m}^3/\text{s}$ is equal to Av . This gives

$$v = \frac{5\,525\text{ m}^3/\text{s}}{A} = \frac{5\,525\text{ m}^3/\text{s}}{1\,340\text{ m}^2} = 4\text{ m/s}$$

Note that we have kept only one significant figure because our value for the depth has only one significant figure.

29

Example 14.8 Watering a Garden

A water hose 2.50 cm in diameter is used by a gardener to fill a 30.0-L bucket. The gardener notes that it takes 1.00 min to fill the bucket. A nozzle with an opening of cross-sectional area 0.500 cm^2 is then attached to the hose. The nozzle is held so that water is projected horizontally from a point 1.00 m above the ground. Over what horizontal distance can the water be projected?

Solution We identify point 1 within the hose and point 2 at the exit of the nozzle. We first find the speed of the water in the hose from the bucket-filling information. The cross-sectional area of the hose is

$$A_1 = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \left(\frac{(2.50\text{ cm})^2}{4} \right) = 4.91\text{ cm}^2$$

According to the data given, the volume flow rate is equal to 30.0 L/min :

$$A_1 v_1 = 30.0\text{ L/min} = \frac{30.0 \times 10^3\text{ cm}^3}{60.0\text{ s}} = 500\text{ cm}^3/\text{s}$$

$$v_1 = \frac{500\text{ cm}^3/\text{s}}{A_1} = \frac{500\text{ cm}^3/\text{s}}{4.91\text{ cm}^2} = 102\text{ cm/s} = 1.02\text{ m/s}$$

Now we use the continuity equation for fluids to find the speed $v_2 = v_a$ with which the water exits the nozzle. The subscript i anticipates that this will be the *initial* velocity

component of the water projected from the hose, and the subscript a recognizes that the initial velocity vector of the projected water is in the horizontal direction.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_a v_a \longrightarrow v_a = \frac{A_1}{A_2} v_1$$

$$v_a = \frac{4.91\text{ cm}^2}{0.500\text{ cm}^2} (1.02\text{ m/s})$$

$$= 10.0\text{ m/s}$$

We now shift our thinking away from fluids and to projectile motion because the water is in free fall once it exits the nozzle. A particle of the water falls through a vertical distance of 1.00 m starting from rest, and lands on the ground at a time that we find from Equation 2.12:

$$y_f = y_i + v_{iy} t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$-1.00\text{ m} = 0 + 0 - \frac{1}{2} (9.80\text{ m/s}^2) t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2(1.00\text{ m})}{9.80\text{ m/s}^2}} = 0.452\text{ s}$$

In the horizontal direction, we apply Equation 2.12 with $a_x = 0$ to a particle of water to find the horizontal distance:

$$x_f = x_i + v_{ix} t = 0 + (10.0\text{ m/s})(0.452\text{ s}) = 4.52\text{ m}$$

30

Persamaan Bernoulli

- Menghubungkan tekanan dengan laju fluida dan ketinggian
- Persamaan Bernoulli adalah konsekuensi dari kekekalan energi yang diaplikasikan pada fluida ideal
- Asumsinya fluida incompressible, nonviskos, dan mengalir tanpa turbulen
- Menyatakan bahwa jumlah tekanan, energi kinetik per satuan volume, dan energi potensial per satuan volume mempunyai nilai yang sama pada semua titik sepanjang streamline

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{tetap}$$

31

CONTOH 14-8

Tekanan air di dalam rumah. Air mengalir ke dalam rumah melalui pipa dengan diameter dalam 2,0 cm pada tekanan absolut $4,0 \times 10^5$ Pa (sekitar 4 atm). Pipa berdiameter 1,0 cm digunakan untuk aliran yang menuju kamar mandi lantai dua setinggi 5,0 m (Gambar 14-23), ketika laju alir pada pipa masukan adalah 1,5 m/s, tentukan laju aliran, tekanan, dan laju aliran volume di dalam kamar mandi.

PENYELESAIAN Ambil titik 1 dan titik 2 berturut-turut sebagai pipa masukan dan pipa yang berada di dalam kamar mandi. Laju v_2 pada pipa kamar mandi didapat dari persamaan kontinuitas, Persamaan (14-14):

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{\pi(1,0 \text{ cm})^2}{\pi(0,50 \text{ cm})^2} (1,5 \text{ m/s}) = 6,0 \text{ m/s}.$$

Kita ambil $y_1 = 0$ (pada bagian masukan) dan $y_2 = 5,0$ m (pada kamar mandi). p_1 dan v_1 diketahui, dan kita dapat mencari p_2 dari persamaan Bernoulli:

$$\begin{aligned} p_2 &= p_1 - \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) - \rho g (y_2 - y_1) \\ &= 4,0 \times 10^5 \text{ Pa} - \frac{1}{2} (1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) (36 \text{ m}^2/\text{s}^2 - 2,25 \text{ m}^2/\text{s}^2) \\ &\quad - (1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) (9,8 \text{ m/s}^2) (5,0 \text{ m}) \\ &= 4,0 \times 10^5 \text{ Pa} - 0,17 \times 10^5 \text{ Pa} - 0,49 \times 10^5 \text{ Pa} \\ &= 3,3 \times 10^5 \text{ Pa} = 3,3 \text{ atm} = 48 \text{ psia}. \end{aligned}$$

Laju aliran volume adalah

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= A_2 v_2 = \pi (0,50 \times 10^{-2} \text{ m})^2 (6,0 \text{ m/s}) \\ &= 4,7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 0,47 \text{ L/s}. \end{aligned}$$



Gambar 14-23 Berapa tekanan air dalam kamar mandi tingkat dua di rumah ini?

Catat bahwa setelah air dimatikan, suhu $\frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$ dalam persamaan untuk tekanan akan hilang, dan tekanan naik sampai $3,5 \times 10^5$ Pa.

32

CONTOH 14-9

Laju efflux Gambar 14-24 memperlihatkan tangki penampung bensin dengan luas penampang A_1 , diisi setinggi h . Ruang di atas bensin berisi udara pada tekanan p_a dan bensin mengalir keluar melalui pipa yang pendek dengan luas penampang A_2 . Turunkanlah persamaan laju aliran di dalam pipa dan laju aliran volume.

PENYELESAIAN Kita dapat memperhatikan seluruh volume cairan yang bergerak sebagai tabung aliran tunggal; v_1 dan v_2 berturut-turut merupakan laju pada titik 1 dan titik 2, dalam Gambar 14-24. Tekanan pada titik 2 adalah tekanan atmosfer, p_a . Dengan menggunakan persamaan Bernoulli di titik 1 dan titik 2 dan menentukan $y = 0$ pada dasar tangki, kita dapatkan

$$p_0 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh = p_{atm} + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g(0)$$

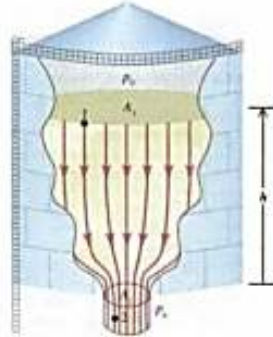
$$v_1^2 = v_2^2 + 2\left(\frac{p_0 - p_{atm}}{\rho}\right) + 2gh$$

Karena A_2 jauh lebih kecil dari A_1 , v_1^2 akan jauh lebih kecil dari v_2^2 dan dapat diabaikan, maka kita dapatkan

$$v_2 = \sqrt{2\left(\frac{p_0 - p_{atm}}{\rho}\right) + 2gh}$$

Laju v_2 disebut laju efflux tergantung pada beda tekanan dan tinggi cairan h di dalam tangki. Jika diatas tangki dibiarkan terbuka maka $p_0 = p_a$ dan $p_0 - p_a = 0$

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$



Gambar 14-24 Perhitungan laju efflux untuk bensin yang mengalir keluar dari dasar tangki penampung.

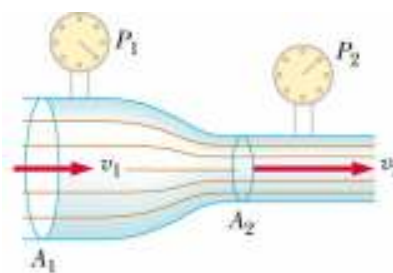
Laju efflux dari bukaan berjarak h dibawah permukaan cairan = laju benda jatuh bebas dari ketinggian h (teorema Toricelli). Peramaan laju aliran volume :

$$\frac{dV}{dt} = A_2 \sqrt{2gh}$$

33

Bagaimana mengukur laju aliran fluida: Venturi Meter

- Menunjukkan aliran fluida yang melalui pipa horisontal
- Laju aliran fluida berubah jika diametrnya berubah
- Fluida yang bergerak cepat memiliki tekanan yang lebih kecil dari fluida yang bergerak lebih lambat



34

Contoh 12-9 Venturi meter

Gambar berikut memperlihatkan venturi meter yang digunakan untuk mengukur laju aliran di dalam pipa. Bagian pipa yang menyempit disebut “leher”. Tentukan persamaan laju aliran v_1 dalam bentuk luas penampang A_1 dan A_2 saja dan selisih ketinggian h cairan pada dua tabung vertikal

Penyelesaian :

Kita gunakan persamaan Bernoulli untuk titik pada saluran besar (titik 1) dan saluran sempit (titik 2) dalam pipa dengan $y_1 = y_2$

Dari persamaan kontinuitas

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

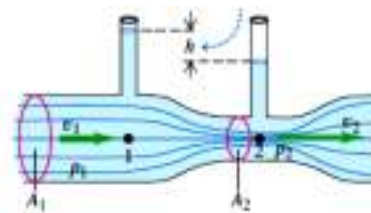
$$v_2 = (A_1/A_2)v_1$$

Karena $A_1 > A_2$, $v_2 > v_1$ dan $p_2 > p_1$

maka

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho v_1^2 \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2gh}{(A_1/A_2)^2 - 1}}$$



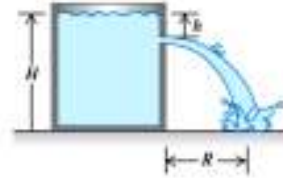
35

Contoh soal

- 12-36 Air mengalir pada sebuah pipa dengan luas penampang yang berubah pada semua titik air memenuhi seluruh pipa. Pada titik 1 luas penampang pipa adalah $0,070 \text{ m}^2$ dan kecepatan fluida adalah $3,50 \text{ m/s}^2$ (a) Berapa laju fluida pada titik-titik dalam pipadimana luas penampangnya adalah (a) $0,105 \text{ m}^2$ and (b) $0,047 \text{ m}^2$ (c) Hitung volume air yang keluar dari ujung pipa dalam 1.00 jam

36

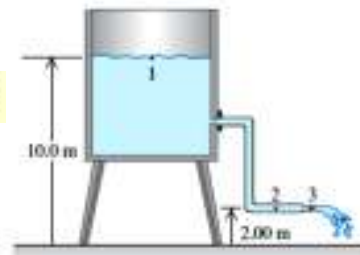
- 12.89. Air ditempatkan pada ketinggian H dalam sebuah tangki besar terbuka, dimana dinding-dinding sisinya vertical. Sebuah lubang dibuat di salah satu bagian dinding pada kedalaman h di bawah permukaan air. (a) Pada jarak R berapa dari kaki dinding, aliran yang timbul mengenai lantai? (b) Berapa jauh diatas bagian bawah tangki air lubang kedua dibuat sehingga aliran yang timbul dari lubang itu memiliki jarak yang sama dari lubang yang pertama?



37

- 12.89 Air mengalir terus menerus dari sebuah tangki terbuka seperti gambar di bawah. Ketinggian titik 1 adalah 10,0 m dan titik 2 dan titik 3 adalah 2,00 m. Luas penampang lintang pada titik 2 adalah 0,0480 m² dan titik 3 adalah 0,0160 m². Luas tangki besar dibandingkan dengan luas pipa. Asumsikan bahwa persamaan Bernoulli digunakan. Hitung a) laju pengosongan tangki dalam meter kubik per sekon b) tekanan gauge pada titik 2

$$p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$



38

Gerak Fluida: Aliran Turbulen

- Aliran menjadi tak tentu
- Tidak mencapai sebuah nilai kecepatan tertentu
- Muncul keadaan yang menyebabkan perubahan kecepatan secara tiba-tiba
- Arus Eddy (arus pusar) merupakan sifat dari aliran turbulen

39

Aliran Fluida: Viskositas

- Viskositas adalah kadar gesekan internal dalam fluida
- Gesekan internal diasosiasikan dengan resistansi (hambatan) antara dua lapisan fluida yang bergerak relatif satu terhadap yang lain

40

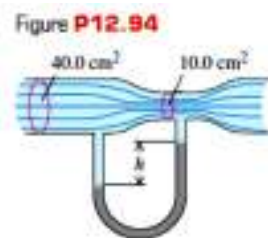
Tugas

1. A sealed tank containing seawater to a height of 11.0 m also contains air above the water at a gauge pressure of 3.00 atm. Water flows out from the bottom through a small hole. How fast is this water moving? (12.41)
2. At one point in a pipeline the water's speed is and the gauge pressure is Find the gauge pressure at a second point in the line, 11.0 m lower than the first, if the pipe diameter at the second point is twice that at the first. (12.44).
3. A soft drink (mostly water) flows in a pipe at a beverage plant with a mass flow rate that would fill 220 0.355-L cans per minute. At point 2 in the pipe, the gauge pressure is 152 kPa and the cross-sectional area is 8.00 cm². At point 1, 1.35 m above point 2, the cross-sectional area is 2.00 cm². Find the (a) mass flow rate; (b) volume flow rate; (c) flow speeds at points 1 and 2; (d) gauge pressure at point 1. (12.46).

41

Tugas

4. The horizontal pipe shown in Fig. P12.94 has a cross-sectional area of 40.0 cm² at the wider portions and 10.0 cm² at the constriction. Water is flowing in the pipe, and the discharge from the pipe is $6.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (16.00 l/s²). Find (a) the flow speeds at the wide and the narrow portions; (b) the pressure difference between these portions; (c) the difference in height between the mercury columns in the U-shaped tube. (12.94)



42