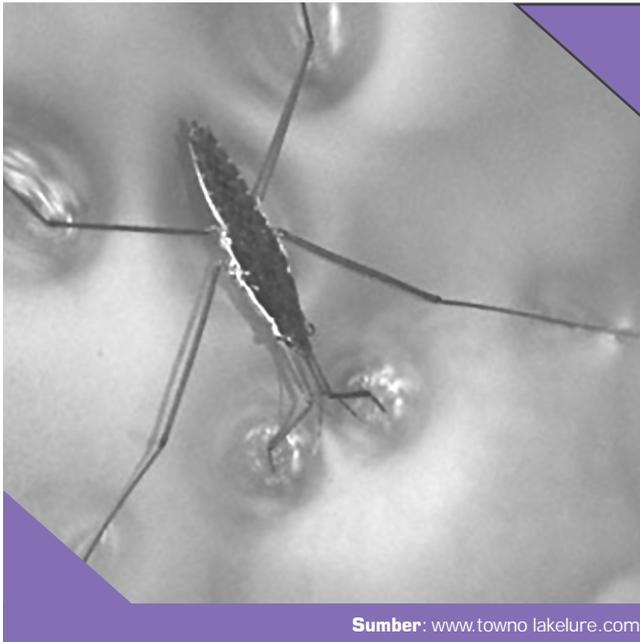


7

B a b 7

Fluida



Sumber: www.towno.lakelure.com

Pada bab ini, Anda diajak untuk dapat menerapkan konsep dan prinsip mekanika klasik sistem kontinu dalam menyelesaikan masalah dengan cara menganalisis hukum-hukum yang berhubungan dengan fluida statis dan dinamis serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

Perhatikanlah serangga yang sedang diam di atas permukaan air. Mengapa serangga tersebut dapat berdiri di atas permukaan air? Bagaimanakah hukum Fisika menerangkan peristiwa ini? Peristiwa serangga yang sedang berdiam diri di atas permukaan air seperti pada gambar, berhubungan dengan salah satu sifat air sebagai fluida, yaitu tegangan permukaan. Oleh karena adanya tegangan permukaan zat cair, serangga dan benda-benda kecil lainnya dapat terapung di atas permukaan air.

Fluida, yaitu zat cair dan gas telah memberikan banyak manfaat bagi manusia karena keistimewaan sifat yang dimilikinya. Kemudahan transportasi air dan udara merupakan salah satu contoh aplikasi teknologi yang berkaitan dengan sifat fluida. Tahukah Anda sifat-sifat fluida lainnya dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari?

Pada Bab 7 ini, Anda akan mendalami pembahasan mengenai fluida yang ditinjau dari keadaan statis dan dinamisnya.

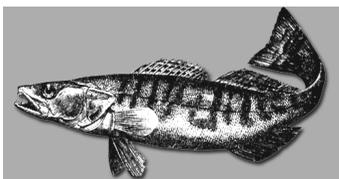
- A. Fluida Statis**
- B. Fluida Dinamis**

Soal Pramateri

1. Sebutkanlah sifat-sifat air dan udara yang Anda ketahui.
2. Terangkanlah oleh Anda, mengapa perahu atau kapal laut dapat mengapung di permukaan air?
3. Jelaskanlah menurut pemahaman Fisika Anda, mengapa burung dapat terbang?

Jelajah Fisika

Ikan Tulang



Ikan tulang (ony ishes) memiliki kantung udara di dalam tubuhnya yang berfungsi sebagai pelampung renang. Agar dapat tetap melayang di dalam air, tekanan udara dalam kantung diatur menurut kedalaman air. Dengan menekan udara dalam kantung tersebut, tulang ikan dapat turun lebih dalam lagi.

Sumber: Jendela Iptek, 1997

Fluida adalah zat yang dapat mengalir dan berubah bentuk (dapat dimampatkan) jika diberi tekanan. Jadi, yang termasuk ke dalam fluida adalah zat cair dan gas. Perbedaan antara zat cair dan gas terletak pada kompresibilitasnya atau ketermampatannya. Gas mudah dimampatkan, sedangkan zat cair tidak dapat dimampatkan. Ditinjau dari keadaan fisisnya, fluida terdiri atas *fluida statis* atau *hidrostatika*, yaitu ilmu yang mempelajari tentang fluida atau zat alir yang diam (tidak bergerak) dan *fluida dinamis* atau *hidrodinamika*, yaitu ilmu yang mempelajari tentang zat alir atau fluida yang bergerak. Hidrodinamika yang khusus membahas mengenai aliran gas dan udara disebut *aerodinamika*.

A Fluida Statis

Sifat fisis fluida dapat ditentukan dan dipahami lebih jelas saat fluida berada dalam keadaan diam (statis). Sifat-sifat fisis fluida statis yang akan dibahas pada subbab ini di antaranya, massa jenis, tekanan, tegangan permukaan, kapilaritas, dan viskositas. Bahasan mengenai massa jenis dan tekanan telah Anda pelajari di SMP sehingga uraian materi yang disajikan dalam subbab ini hanya bertujuan mengingatkan Anda tentang materi tersebut.

1. Massa Jenis

Pernahkah Anda membandingkan berat antara kayu dan besi? Benarkah pernyataan bahwa besi lebih berat daripada kayu? Pernyataan tersebut tentunya kurang tepat, karena segelondong kayu yang besar jauh lebih berat daripada sebuah bola besi. Pernyataan yang tepat untuk perbandingan antara kayu dan besi tersebut, yaitu besi lebih padat daripada kayu.

Anda tentu masih ingat, bahwa setiap benda memiliki kerapatan massa yang berbeda-beda serta merupakan sifat alami dari benda tersebut. Dalam Fisika, ukuran kepadatan (densitas) benda homogen disebut massa jenis, yaitu massa per satuan volume. Secara matematis, massa jenis dituliskan sebagai berikut.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (7-1)$$

dengan: m = massa (kg atau g),
 V = volume (m^3 atau cm^3), dan
 ρ = massa jenis (kg/m^3 atau g/cm^3).

Jenis beberapa bahan dan massa jenisnya dapat dilihat pada **Tabel 7.1** berikut.

Tabel 7.1 Massa Jenis atau Kerapatan Massa (*Density*)

Bahan	Massa Jenis (g/cm^3)	Nama Bahan	Massa Jenis (g/cm^3)
Air	1,00	Gliserin	1,26
Aluminium	2,7	Kuningan	8,6
Baja	7,8	Perak	10,5
Benzena	0,9	Platina	21,4
Besi	7,8	Raksa	13,6
Emas	19,3	Tembaga	8,9
Es	0,92	Timah Hitam	11,3
Etil Alkohol	0,81		

Sumber: college physics, 1980

2. Tekanan Hidrostatik

Masih ingatkah Anda definisi tekanan? Tekanan adalah gaya yang bekerja tegak lurus pada suatu permukaan bidang dan dibagi luas permukaan bidang tersebut. Secara matematis, persamaan tekanan dituliskan sebagai berikut.

$$p = \frac{F}{A} \quad (7-2)$$

dengan: F = gaya (N),
 A = luas permukaan (m^2), dan
 p = tekanan ($\text{N}/\text{m}^2 = \text{Pascal}$).

Persamaan (7-2) menyatakan bahwa tekanan p berbanding terbalik dengan luas permukaan bidang tempat gaya bekerja. Jadi, untuk besar gaya yang sama, luas bidang yang kecil akan mendapatkan tekanan yang lebih besar daripada luas bidang yang besar. Dapatkah Anda memberikan beberapa contoh penerapan konsep tekanan dalam kehidupan sehari-hari?

Tekanan hidrostatik disebabkan oleh fluida tak bergerak. Tekanan hidrostatik yang dialami oleh suatu titik di dalam fluida diakibatkan oleh gaya berat fluida yang berada di atas titik tersebut. Perhatikanlah **Gambar 7.1**. Jika besarnya tekanan hidrostatik pada dasar tabung adalah p , menurut konsep tekanan, besarnya p dapat dihitung dari perbandingan antara gaya berat fluida (F) dan luas permukaan bejana (A).

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\text{gaya berat fluida}}{\text{luas permukaan bejana}}$$

Gaya berat fluida merupakan perkalian antara massa fluida dengan percepatan gravitasi Bumi, ditulis $p = \frac{m_{\text{fluida}} g}{A}$. Oleh karena $m = \rho V$, persamaan tekanan oleh fluida dituliskan sebagai $p = \frac{\rho V g}{A}$.

Volume fluida di dalam bejana merupakan hasil perkalian antara luas permukaan bejana (A) dan tinggi fluida dalam bejana (h). Oleh karena itu, persamaan tekanan di dasar bejana akibat fluida setinggi h dapat dituliskan menjadi

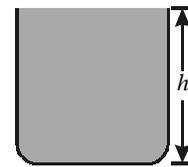
$$p = \frac{\rho (Ah) g}{A} = \rho h g$$

Jika tekanan hidrostatik dilambangkan dengan p_h , persamaannya dituliskan sebagai berikut.

$$p_h = \rho g h \quad (7-3)$$

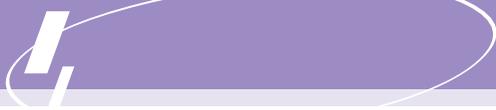
dengan: p_h = tekanan hidrostatik (N/m^2),
 ρ = massa jenis fluida (kg/m^3),
 g = percepatan gravitasi (m/s^2), dan
 h = kedalaman titik dari permukaan fluida (m).

Semakin tinggi dari permukaan Bumi, tekanan udara akan semakin berkurang. Sebaliknya, semakin dalam Anda menyelam dari permukaan laut atau danau, tekanan hidrostatik akan semakin bertambah. Mengapa demikian? Hal tersebut disebabkan oleh gaya berat yang dihasilkan oleh udara dan zat cair. Anda telah mengetahui bahwa lapisan udara akan semakin tipis seiring bertambahnya ketinggian dari permukaan Bumi sehingga tekanan udara akan berkurang jika ketinggian bertambah. Adapun untuk zat cair, massanya akan semakin besar seiring dengan bertambahnya kedalaman. Oleh karena itu, tekanan hidrostatik akan bertambah jika kedalaman bertambah.



Gambar 7.1

Dasar bejana yang terisi dengan fluida setinggi h akan mengalami tekanan hidrostatik sebesar p .



Contoh 7.1

Tabung setinggi 30 cm diisi penuh dengan fluida. Tentukanlah tekanan hidrostatik pada dasar tabung, jika $g = 10 \text{ m/s}^2$ dan tabung berisi:

- air,
- raksa, dan
- gliserin.

Gunakan data massa jenis pada Tabel 7.1.

Jawab

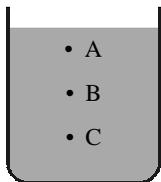
Diketahui: $h = 30 \text{ cm}$ dan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- Tekanan hidrostatik pada dasar tabung yang berisi air:

$$P_h = \rho gh = (1.000 \text{ kg/m}^3) (10 \text{ m/s}^2) (0,3 \text{ m}) = 3.000 \text{ N/m}^2$$
- Tekanan hidrostatik pada dasar tabung yang berisi air raksa:

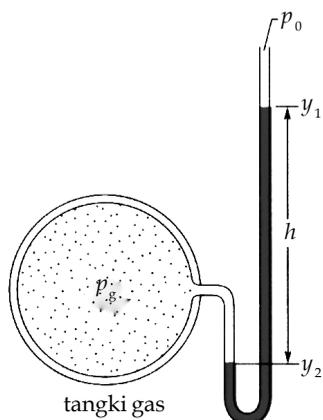
$$P_h = \rho gh = (13.600 \text{ kg/m}^3) (10 \text{ m/s}^2) (0,3 \text{ m}) = 40.800 \text{ N/m}^2$$
- Tekanan hidrostatik pada dasar tabung yang berisi gliserin:

$$P_h = \rho gh = (1.260 \text{ kg/m}^3) (10 \text{ m/s}^2) (0,3 \text{ m}) = 3.780 \text{ N/m}^2$$



Gambar 7.2

Semakin dalam kedudukan sebuah titik dalam fluida, tekanan hidrostatik di titik tersebut akan semakin besar.



Sumber: Fundamental of physics, 2001

Gambar 7.3

Manometer pipa terbuka

Perhatikan Gambar 7.2. Pada gambar tersebut, tekanan hidrostatik di titik A, B, dan C berbeda-beda. Tekanan hidrostatik paling besar adalah di titik C. Dapatkah Anda menjelaskan alasannya?

Prinsip tekanan hidrostatik ini digunakan pada alat-alat pengukur tekanan. Alat-alat pengukur tekanan yang digunakan untuk mengukur tekanan gas, di antaranya sebagai berikut.

a. Manometer Pipa Terbuka

Manometer pipa terbuka adalah alat pengukur tekanan gas yang paling sederhana. Alat ini berupa pipa berbentuk U yang berisi zat cair. Perhatikan Gambar 7.3. Ujung yang satu mendapat tekanan sebesar p (dari gas yang hendak diukur tekanannya) dan ujung lainnya berhubungan dengan tekanan atmosfer (p_0).

Besarnya tekanan udara di titik $y_1 = p_0$, sedangkan tekanan udara di titik $y_2 = p$. y_1 memiliki selisih ketinggian $\Delta y_1 = 0$ dan y_2 memiliki selisih ketinggian $\Delta y_2 = h$. Berdasarkan Persamaan (7-3) tentang besar tekanan hidrostatik, besarnya tekanan udara dalam tabung pada Gambar 7.3 dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$p_{\text{gas}} = p - p_0 = \rho gh \quad (7-4)$$

dengan $\rho =$ massa jenis zat cair dalam tabung.

b. Barometer

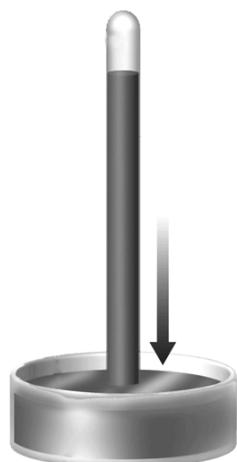
Barometer raksa ini ditemukan pada 1643 oleh Evangelista Torricelli, seorang ahli Fisika dan Matematika dari Italia. Ia mendefinisikan tekanan atmosfer dalam bukunya yang berjudul "A Unit of Measurement, The Torr"

Tekanan atmosfer (1 atm) sama dengan tekanan hidrostatik raksa (mercury) yang tingginya 760 mm. Cara mengonversikan satuannya adalah sebagai berikut.

ρ raksa \times percepatan gravitasi Bumi \times panjang raksa dalam tabung atau

$$(13.600 \text{ kg/cm}^3) (9,8 \text{ m/s}^2) (0,76 \text{ m}) = 1,103 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Jadi,
$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \quad (7-5)$$



Sumber: www.atmos.washington.edu

Gambar 7.4

Skema barometer raksa

Kerjakanlah

Lakukanlah analisis oleh Anda tentang cara kerja dari barometer, kemudian diskusikanlah bersama teman Anda dan buatlah laporan tertulisnya.

c. Pengukur Tekanan Ban

Alat ini digunakan untuk mengukur tekanan udara di dalam ban. Bentuknya berupa silinder panjang yang di dalamnya terdapat pegas. Saat ujungnya ditekankan pada pentil ban, tekanan udara dari dalam ban akan masuk ke dalam silinder dan menekan pegas. Besarnya tekanan yang diterima oleh pegas akan diteruskan ke ujung lain dari silinder yang dihubungkan dengan skala. Skala ini telah dikalibrasi sehingga dapat menunjukkan nilai selisih tekanan udara luar (atmosfer) dengan tekanan udara dalam ban.

3. Tekanan Total

Tinjaulah sebuah tabung yang diisi dengan fluida setinggi h , seperti tampak pada **Gambar 7.6**. Pada permukaan fluida yang terkena udara luar, bekerja tekanan udara luar yang dinyatakan dengan p . Jika tekanan udara luar ikut diperhitungkan, besarnya tekanan total atau tekanan mutlak pada satu titik di dalam fluida adalah

$$p_A = p_0 + \rho gh \quad (7-6)$$

dengan: p_0 = tekanan udara luar = $1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, dan
 p_A = tekanan total di titik A (tekanan mutlak).

Contoh 7.2

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

- 10 cm,
- 20 cm, dan
- 30 cm.

Jawab

Diketahui: $p_0 = 1 \text{ atm}$ dan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

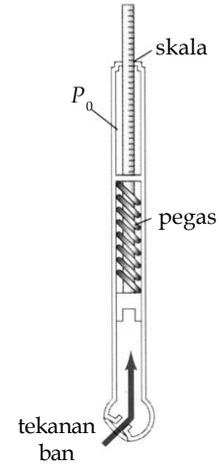
- Tekanan total di bawah permukaan danau pada kedalaman 10 cm:
 $p_A = p_0 + \rho gh = (1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2) + (1.000 \text{ kg/m}^3) (10 \text{ m/s}^2) (0,1 \text{ m})$
 $= 1,023 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
- Tekanan total di bawah permukaan danau pada kedalaman 20 cm:
 $p_A = p_0 + \rho gh = (1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2) + (1.000 \text{ kg/m}^3) (10 \text{ m/s}^2) (0,2 \text{ m})$
 $= 1,033 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
- Tekanan total di bawah permukaan danau pada kedalaman 30 cm:
 $p_A = p_0 + \rho gh = (1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2) + (1.000 \text{ kg/m}^3) (10 \text{ m/s}^2) (0,3 \text{ m})$
 $= 1,043 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

4. Hukum Utama Hidrostatik

Perhatikanlah **Gambar 7.7**. Gambar tersebut memperlihatkan sebuah bejana berhubungan yang diisi dengan fluida, misalnya air. Anda dapat melihat bahwa tinggi permukaan air di setiap tabung adalah sama, walaupun bentuk setiap tabung berbeda. Bagaimanakah tekanan yang dialami oleh suatu titik di setiap tabung? Samakah tekanan total di titik A, B, C, dan D yang letaknya segaris? Untuk menjawab pertanyaan tersebut, Anda harus mengetahui Hukum Utama Hidrostatik.

Hukum Utama Hidrostatik menyatakan bahwa semua titik yang berada pada bidang datar yang sama dalam fluida homogen, memiliki tekanan total yang sama. Jadi, walaupun bentuk penampang tabung berbeda, besarnya tekanan total di titik A, B, C, dan D adalah sama.

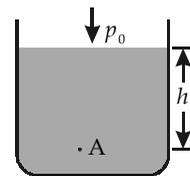
Persamaan Hukum Utama Hidrostatik dapat diturunkan dengan memerhatikan **Gambar 7.8**. Misalkan, pada suatu bejana berhubungan dimasukkan dua jenis fluida yang massa jenisnya berbeda, yaitu ρ_1 dan ρ_2 .



Sumber: hysics, 1995

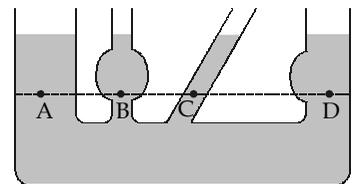
Gambar 7.5

Alat pengukur tekanan udara di dalam ban.



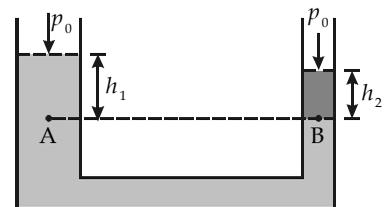
Gambar 7.6

Tekanan total atau tekanan mutlak yang dialami oleh titik A yang berada di dalam suatu fluida adalah sebesar p_A .



Gambar 7.7

Tekanan di titik A, B, C, dan D sama besar, serta tidak bergantung pada bentuk penampang tempat fluida tersebut.



Gambar 7.8

Tekanan total di titik A dan B pada bejana U yang terisi fluida homogen adalah sama besar, $p_A = p_B$.

Jelajah Fisika

Blaise Pascal



Sumber: www.philotheek.de

Blaise Pascal lahir di Clermont-Ferrand, Prancis. Ia dikenal sebagai seorang matematika-wan dan fisikawan yang handal. Penelitiannya dalam ilmu Fisika, membuat ia berhasil menemukan barometer, mesin hidrolik dan jarum suntik.

Sumber: www.all-illustrations.com

Jika diukur dari bidang batas terendah antara fluida 1 dan fluida 2, yaitu titik B dan titik A, fluida 2 memiliki ketinggian h_2 dan fluida 1 memiliki ketinggian h_1 .

Tekanan total di titik A dan titik B sama besar. Menurut persamaan tekanan hidrostatis, besarnya tekanan di titik A dan titik B bergantung pada massa jenis fluida dan ketinggian fluida di dalam tabung. Secara matematis, persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

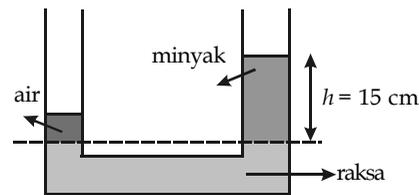
$$p_A = p_B$$

$$p_0 + \rho_1 g h_1 = p_0 + \rho_2 g h_2$$

$$\boxed{\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2} \quad (7-7)$$

dengan: h_1 = jarak titik A terhadap permukaan fluida 1,
 h_2 = jarak titik B terhadap permukaan fluida 2,
 ρ_1 = massa jenis fluida satu, dan
 ρ_2 = massa jenis fluida dua.

Contoh 7.3



Perhatikanlah gambar bejana di samping. Jika diketahui massa jenis minyak $0,8 \text{ g/cm}^3$, massa jenis raksa $13,6 \text{ g/cm}^3$, dan massa jenis air 1 g/cm^3 , tentukanlah perbedaan tinggi permukaan antara minyak dan air.

Jawab

Diketahui: $\rho_m = 0,8 \text{ g/cm}^3$, $\rho_r = 13,6$, dan $\rho_{\text{air}} = 1 \text{ g/cm}^3$.

Air dan minyak batas terendahnya sama sehingga diperoleh persamaan berikut

$$\rho_a h_a = \rho_m h_m \rightarrow h_a = \frac{\rho_m}{\rho_a} h_m = \frac{0,8 \text{ g/cm}^3}{1 \text{ g/cm}^3} \times 15 \text{ cm} = 12 \text{ cm}$$

Jadi, perbedaan tinggi permukaan minyak dan air = $15 \text{ cm} - 12 \text{ cm} = 3 \text{ cm}$.

5. Hukum Pascal

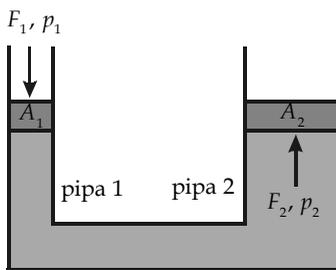
Bagaimana jika sebuah bejana U diisi dengan fluida homogen dan salah satu pipanya ditekan dengan gaya sebesar F ? Proses Fisika yang terjadi pada bejana U seperti itu diselidiki oleh **Blaise Pascal**. Melalui penelitiannya, Pascal berkesimpulan bahwa apabila tekanan diberikan pada fluida yang memenuhi sebuah ruangan tertutup, tekanan tersebut akan diteruskan oleh fluida tersebut ke segala arah dengan besar yang sama tanpa mengalami pengurangan. Pernyataan ini dikenal sebagai Hukum Pascal yang dikemukakan oleh Pascal pada 1653.

Secara analisis sederhana, Hukum Pascal dapat digambarkan seperti pada **Gambar 7.9**. Tekanan oleh gaya sebesar F_1 terhadap pipa 1 yang memiliki luas penampang pipa A_1 , akan diteruskan oleh fluida menjadi gaya angkat sebesar F_2 pada pipa 2 yang memiliki luas penampang pipa A_2 dengan besar tekanan yang sama. Oleh karena itu, secara matematis Hukum Pascal ditulis sebagai berikut.

$$p_1 = p_2$$

$$\boxed{\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}} \quad (7-8)$$

dengan: F_1 = gaya pada pengisap pipa 1,
 A_1 = luas penampang pengisap pipa 1,
 F_2 = gaya pada pengisap pipa 2, dan
 A_2 = luas penampang pengisap pipa 2.



Gambar 7.9

Tekanan F_1 di pipa satu sama besar dengan gaya angkat di pipa dua.

Contoh 7.4

Alat pengangkat mobil yang memiliki luas pengisap 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 pengisap yang kecil?

Jawab

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

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

Dengan demikian, gaya yang harus diberikan pada pengisap yang kecil adalah 80 N.

Contoh 7.5

Sebuah pompa hidrolis berbentuk silinder memiliki jari-jari 4 cm dan 20 cm. Jika pengisap kecil ditekan dengan gaya 200 N, berapakah gaya yang dihasilkan pada pengisap besar?

Jawab

Diketahui: $r_2 = 20 \text{ cm}$, $r_1 = 4 \text{ cm}$, dan $F_1 = 200 \text{ N}$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \rightarrow F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} = F_1 \frac{\pi r_2^2}{\pi r_1^2} = F_1 \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 = (200 \text{ N}) \left(\frac{20 \text{ cm}}{4 \text{ cm}} \right)^2 = 5.000 \text{ N}$$

Hukum Pascal dimanfaatkan dalam peralatan teknik yang banyak membantu pekerjaan manusia, antara lain dongkrak hidrolis, pompa hidrolis, mesin hidrolis pengangkat mobil, mesin pres hidrolis, dan rem hidrolis. Berikut pembahasan mengenai cara kerja beberapa alat yang menggunakan prinsip Hukum Pascal.

a. Dongkrak Hidrolis

Dongkrak hidrolis merupakan salah satu aplikasi sederhana dari Hukum Pascal. Berikut ini prinsip kerja dongkrak hidrolis. Saat pengisap kecil diberi gaya tekan, gaya tersebut akan diteruskan oleh fluida (minyak) yang terdapat di dalam pompa. Akibatnya, minyak dalam dongkrak akan menghasilkan gaya angkat pada pengisap besar dan dapat mengangkat beban di atasnya.

b. Mesin Hidrolis Pengangkat Mobil

Mesin hidrolis pengangkat mobil ini memiliki prinsip yang sama dengan dongkrak hidrolis. Perbedaannya terletak pada perbandingan luas penampang pengisap yang digunakan. Pada mesin pengangkat mobil, perbandingan antara luas penampang kedua pengisap sangat besar sehingga gaya angkat yang dihasilkan pada pipa berpenampang besar dan dapat digunakan untuk mengangkat mobil.



Sumber: hysics, 1995

Solusi Cerdas

Sebuah pipa berdiameter 9 cm dialiri air berkecepatan 5 m/s, kemudian terhubung dengan pipa berdiameter 3 cm. Kecepatan air pada pipa yang berdiameter 3 cm adalah

- 3 m/s
- 9 m/s
- 18 m/s
- 27 m/s
- 45 m/s

Penyelesaian

$$A_1 = \pi r_1^2 = \pi \left(\frac{81}{4} \times 10^{-4} \right) \text{ m}^2$$

$$A_2 = \pi r_2^2 = \pi \left(\frac{9}{4} \times 10^{-4} \right) \text{ m}^2$$

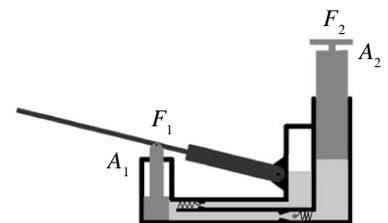
$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2} = \frac{\pi \left(\frac{81}{4} \times 10^{-4} \right) \text{ m}^2 (5 \text{ m/s})}{\pi \left(\frac{9}{4} \times 10^{-4} \right) \text{ m}^2}$$

$$v_2 = \left(\frac{81}{9} \times 5 \right) \text{ m} = 45 \text{ m/s}$$

Jawab: e

Soal UNAS 2005/2006



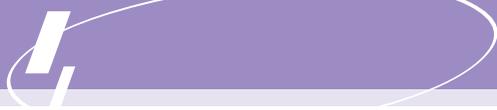
Sumber: www.tcn.edu

Gambar 7.10

Skema dongkrak hidrolis

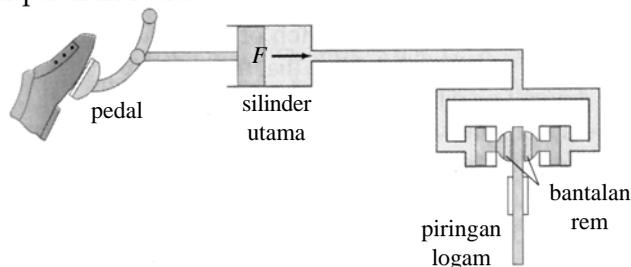
Gambar 7.11

Mesin hidrolis pengangkat mobil



c. Rem Hidrolik

Rem hidrolik digunakan pada mobil. Ketika Anda menekan pedal rem, gaya yang Anda berikan pada pedal akan diteruskan ke silinder utama yang berisi minyak rem. Selanjutnya, minyak rem tersebut akan menekan bantalan rem yang dihubungkan pada sebuah piringan logam sehingga timbul gesekan antara bantalan rem dengan piringan logam. Gaya gesek ini akhirnya akan menghentikan putaran roda.



Sumber: hysics, 1995

Gambar 7.12 Prinsip kerja rem hidrolik

Jelajah Fisika

Archimedes



Sumber: www.katharinen.ingolstadt.de
Archimedes lahir di Syracuse, Romawi. Ia dikenal dan dikenang karena sejumlah hasil karyanya di bidang Fisika dan Matematika yang memberikan banyak manfaat dalam kehidupan manusia. Hasil karyanya dalam ilmu Fisika antara lain alat penaik air dan hidrostatika. Ungkapannya yang terkenal saat ia menemukan gaya ke atas yang dialami oleh benda di dalam fluida, yaitu "ureka" sangat melekat dengan namanya.

Sumber: www.all iographies.com

6. Hukum Archimedes

Anda tentunya sering melihat kapal yang berlayar di laut, benda-benda yang terapung di permukaan air, atau batuan-batuan yang tenggelam di dasar sungai. Konsep terapung, melayang, atau tenggelamnya suatu benda di dalam fluida, kali pertama diteliti oleh **Archimedes**.

Menurut Archimedes, benda yang dicelupkan sebagian atau seluruhnya ke dalam fluida, akan mengalami gaya ke atas. Besar gaya ke atas tersebut besarnya sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda. Secara matematis, Hukum Archimedes dituliskan sebagai berikut.

$$F_A = \rho_f V_f g \quad (7-9)$$

dengan: F_A = gaya ke atas (N),
 ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3),
 V_f = volume fluida yang dipindahkan (m^3), dan
 g = percepatan gravitasi (m/s^2).

Berdasarkan **Persamaan (7-9)** dapat diketahui bahwa besarnya gaya ke atas yang dialami benda di dalam fluida bergantung pada massa jenis fluida, volume fluida yang dipindahkan, dan percepatan gravitasi Bumi.

Mahir Meneliti 7.1

Menguji Teori Archimedes

Alat dan Bahan

1. Dua buah bejana yang identik
2. Neraca sama lengan
3. Neraca pegas
4. Beban
5. Air

Prosedur

1. Gantungkan beban pada neraca pegas.
2. Catatlah nilai yang ditunjukkan oleh neraca pegas sebagai berat beban tersebut.
3. Isilah salah satu bejana dengan air, kemudian timbanglah beban di dalam air. Catatlah angka yang ditunjukkan oleh neraca pegas sebagai berat beban di dalam air.
4. Bandingkanlah berat beban saat ditimbang di udara dengan berat beban saat ditimbang di dalam air. Apakah yang dapat Anda simpulkan dari kegiatan tersebut?
5. Letakkan kedua bejana identik ke setiap lengan neraca sama lengan.

6. Isilah kedua bejana identik dengan air sampai penuh. Kemudian, secara perlahan masukkan beban ke dalam salah satu bejana, sambil menampung air yang tumpah dari dalam bejana.
7. Amatilah posisi neraca sama lengan setelah beban berada di dalam salah satu bejana.
8. Hitunglah volume beban yang digunakan, kemudian bandingkan volume tersebut dengan volume air yang dipindahkan ketika beban dimasukkan ke dalam air.
9. Apakah yang dapat Anda simpulkan?
10. Diskusikanlah bersama teman kelompok dan guru Fisika Anda.

Anda telah mengetahui bahwa suatu benda yang berada di dalam fluida dapat terapung, melayang, atau tenggelam. Agar Anda dapat mengingat kembali konsep Fisika dan persamaan yang digunakan untuk menyatakan ketiga peristiwa tersebut, pelajailah uraian berikut.

a. Terapung

Benda yang dicelupkan ke dalam fluida akan terapung jika massa jenis benda lebih kecil daripada massa jenis fluida ($\rho_b < \rho_f$). Massa jenis benda yang terapung dalam fluida memenuhi persamaan berikut.

$$\rho_b = \frac{V_{bf}}{V_b} \rho_f \quad (7-10)$$

atau

$$\rho_b = \frac{h_{bf}}{h_b} \rho_f \quad (7-11)$$

dengan: V_{bf} = volume benda yang tercelup dalam fluida (m^3),
 V_b = volume benda (m^3),
 h_{bf} = tinggi benda yang tercelup dalam fluida (m),
 h_b = tinggi benda (m),
 ρ_b = massa jenis benda (kg/m^3), dan
 ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3).

Sebuah balok kayu ($\rho = 0,6 \text{ kg/m}^3$) bermassa 60 g dan volume 100 cm^3 dimasukkan ke dalam air. Ternyata, 60 cm^3 kayu tenggelam sehingga volume air yang dipindahkan sebesar 60 cm^3 ($0,6 \text{ N}$).

b. Melayang

Benda yang dicelupkan ke dalam fluida akan melayang jika massa jenis benda sama dengan massa jenis fluida ($\rho_b = \rho_f$). Dapatkah Anda memberikan contoh benda-benda yang melayang di dalam zat cair?

c. Tenggelam

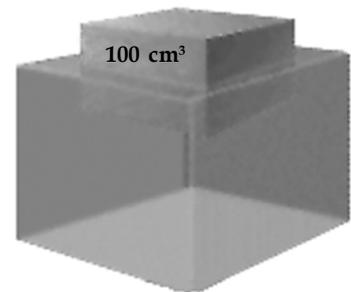
Benda yang dicelupkan ke dalam fluida akan tenggelam jika massa jenis benda lebih besar daripada massa jenis fluida ($\rho_b > \rho_f$). Jika benda yang dapat tenggelam dalam fluida ditimbang di dalam fluida tersebut, berat benda akan menjadi

$$w_{bf} = w - F_A \quad (7-12)$$

atau

$$w_{bf} = (\rho_b - \rho_f) V_b g \quad (7-13)$$

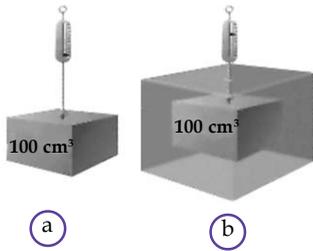
dengan: w_{bf} = berat benda dalam fluida (N), dan
 w = berat benda di udara (N).



Sumber: icroso t ncarta, 2004

Gambar 7.13

Balok kayu bervolume 100 cm^3 dimasukkan ke dalam air.



Sumber: icrosos t ncarta, 2004

Gambar 7.14

- (a) Balok aluminium dengan volume 100 cm^3 di udara.
 (b) Balok aluminium dengan volume 100 cm^3 ditimbang di dalam air. Apakah beratnya sama?

Perhatikanlah **Gambar 7.14**. Aluminium ($\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$) yang bermassa 270 g dan memiliki volume 100 cm^3 , ditimbang di udara. Berat aluminium tersebut sebesar $2,7 \text{ N}$. Ketika penimbangan dilakukan di dalam air, volume air yang dipindahkan adalah 100 cm^3 dan menyebabkan berat air yang dipindahkan sebesar 1 N ($m = \rho V$ dan $w = mg$). Dengan demikian, gaya ke atas F_A yang dialami aluminium sama dengan berat air yang dipindahkan, yaitu sebesar 1 N . Berat aluminium di dalam air menjadi

$$\begin{aligned} w_{\text{bf}} &= w - F_A \\ &= 2,7 \text{ N} - 1 \text{ N} \\ &= 1,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Contoh 7.6

Sebuah batu memiliki berat 30 N jika ditimbang di udara. Jika batu tersebut ditimbang di dalam air beratnya $= 21 \text{ N}$. Jika massa jenis air adalah 1 g/cm^3 , tentukanlah:

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

Jawab

Diketahui: $w = 30 \text{ N}$, $w_{\text{bf}} = 21 \text{ N}$, dan $\rho_{\text{air}} = 1 \text{ g/cm}^3$.

$$w = 30 \text{ N} \rightarrow m = \frac{w}{g} = \frac{30 \text{ N}}{10 \text{ m/s}^2} = 3 \text{ kg}$$

$$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ g/cm}^3 = 1.000 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{a. } w_{\text{bf}} &= w - F_A \\ 21 \text{ N} &= 30 \text{ N} - F_A \\ F_A &= 9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } F_A &= \rho_{\text{air}} V_{\text{batu}} g \\ 9 \text{ N} &= (1.000 \text{ kg/m}^3) (V_{\text{batu}}) (10 \text{ m/s}^2) \\ V_{\text{batu}} &= 9 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{c. } \rho_{\text{batu}} = \frac{m}{V} = \frac{3 \text{ kg}}{9 \times 10^{-4} \text{ m}^3} = \frac{1}{3} \times 10^4 \text{ kg/m}^3 = 3.333,3 \text{ kg/m}^3$$

Contoh 7.7

Sebuah bola logam padat seberat 20 N diikatkan pada seutas kawat dan dicelupkan ke dalam minyak ($\rho_{\text{minyak}} = 0,8 \text{ g/cm}^3$). Jika massa jenis logam 5 g/cm^3 , berapakah tegangan kawat?

Jawab

Diketahui: $w_{\text{bola}} = 20 \text{ N}$, $\rho_{\text{minyak}} = 0,8 \text{ g/cm}^3$, dan $\rho_{\text{logam}} = 5 \text{ g/cm}^3$.

Berdasarkan uraian gaya-gaya yang bekerja pada bola, dapat dituliskan persamaan

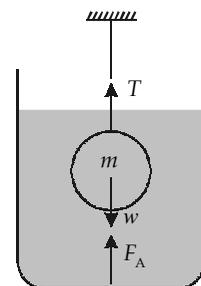
$$T + F_A = w$$

$$T = w - F_A = w - \rho_{\text{minyak}} V_{\text{bola}} g$$

$$T = w - \rho_{\text{minyak}} \left(\frac{m_{\text{bola}}}{\rho_{\text{bola}}} \right) g$$

$$T = 20 \text{ N} - (800 \text{ kg/m}^3) \left(\frac{2 \text{ kg}}{5.000 \text{ kg/cm}^3} \right) (10 \text{ m/s}^2)$$

$$T = 16,8 \text{ N}$$



Contoh 7.8

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

Jawab

Diketahui: $V_{\text{benda}} = 20 \text{ m}^3$, $\rho_{\text{benda}} = 800 \text{ kg/m}^3$, dan $\rho_{\text{air}} = 1.000 \text{ kg/m}^3$.

Volume air yang dipindahkan = volume benda yang tercelup

$$F_A = \rho_{\text{air}} V_{\text{air-pindah}} g = \text{berat benda}$$

$$= \rho_{\text{air}} V_{\text{bagian tercelup}} g = mg$$

$$\rho_{\text{air}} V_{\text{bagian tercelup}} = \rho_{\text{benda}} V_{\text{benda}}$$

$$(1 \text{ kg/m}^3) (V_{\text{bagian tercelup}}) = (800 \text{ kg/m}^3) (20 \text{ m}^3)$$

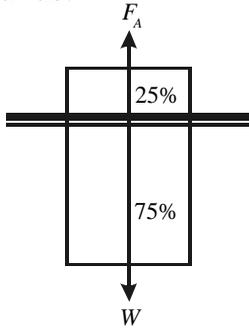
$$V_{\text{bagian tercelup}} = 16 \text{ m}^3$$

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

Contoh 7.9

Sebuah benda dimasukkan ke dalam air. Ternyata, 25% dari volume benda terapung di atas permukaan air. Berapakah massa jenis benda tersebut?

Jawab:



Diketahui: $V_{\text{benda terapung}} = 25\%$.

$$w_{\text{benda}} = F_A$$

$$mg = \rho_{\text{air}} V_{\text{benda tercelup}} g$$

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

$$\rho_{\text{benda}} = \rho_{\text{air}} \frac{V_{\text{benda tercelup}}}{V_{\text{benda}}}$$

$$= (1 \text{ g/cm}^3) \frac{75\%}{100\%} = 0,75 \text{ g/cm}^3.$$

7. Aplikasi Hukum Archimedes

Hukum Archimedes banyak diterapkan dalam kehidupan sehari-hari, di antaranya pada hidrometer, kapal laut, kapal selam, balon udara, dan galangan kapal. Berikut ini prinsip kerja alat-alat tersebut.

a. Hidrometer

Hidrometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur massa jenis zat cair. Proses pengukuran massa jenis zat cair menggunakan hidrometer dilakukan dengan cara memasukkan hidrometer ke dalam zat cair tersebut. Angka yang ditunjukkan oleh hidrometer telah dikalibrasi sehingga akan menunjukkan nilai massa jenis zat cair yang diukur. Berikut ini prinsip kerja hidrometer.

Gaya ke atas = berat hidrometer

$$F_A = w_{\text{hidrometer}}$$

$$\rho_1 V_1 g = mg$$

Oleh karena volume fluida yang dipindahkan oleh hidrometer sama dengan luas tangkai hidrometer dikalikan dengan tinggi yang tercelup maka dapat dituliskan

$$\rho_1 (Ah_1) = m$$

$$h_1 = \frac{m}{A\rho_1}$$

(7-14)

Jelajah Fisika

Penaik Air



Penaik air ini adalah alat yang diciptakan oleh Archimedes untuk menaikkan air dari sungai atau kanal. Prinsip dasar dari alat ini adalah bidang miring yang disusun menjadi pilinan (heliks). Apabila pegangan di ujung tabung di putar, pilinan tersebut akan mengangkat air ke atas.

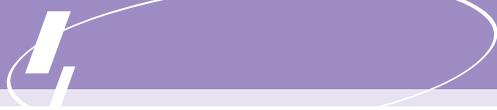
Sumber: Jendela Iptek,



Sumber: Jendela Iptek, 1997

Gambar 7.15

Hidrometer



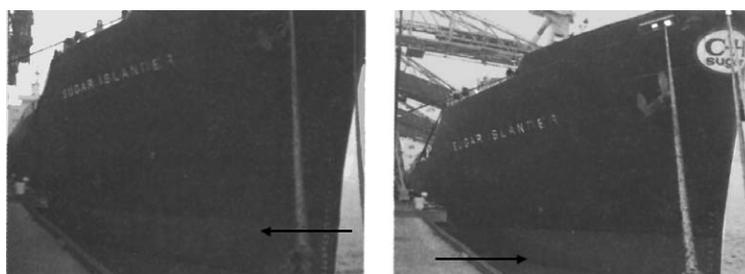
dengan: m = massa hidrometer (kg),
 A = luas tangkai (m^2),
 h_f = tinggi hidrometer yang tercelup dalam zat cair (m), dan
 ρ_f = massa jenis zat cair (kg/m^3).

Hidrometer digunakan untuk memeriksa muatan akumulator mobil dengan cara membenamkan hidrometer ke dalam larutan asam akumulator. Massa jenis asam untuk muatan akumulator penuh kira-kira = $1,25 kg/m^3$ dan mendekati $1 kg/m^3$ untuk muatan akumulator kosong.

b. Kapal Laut dan Kapal Selam

Mengapa kapal yang terbuat dari baja dapat terapung di laut? Peristiwa ini berhubungan dengan gaya apung yang dihasilkan oleh kapal baja tersebut. Perhatikan **Gambar 7.16** berikut.

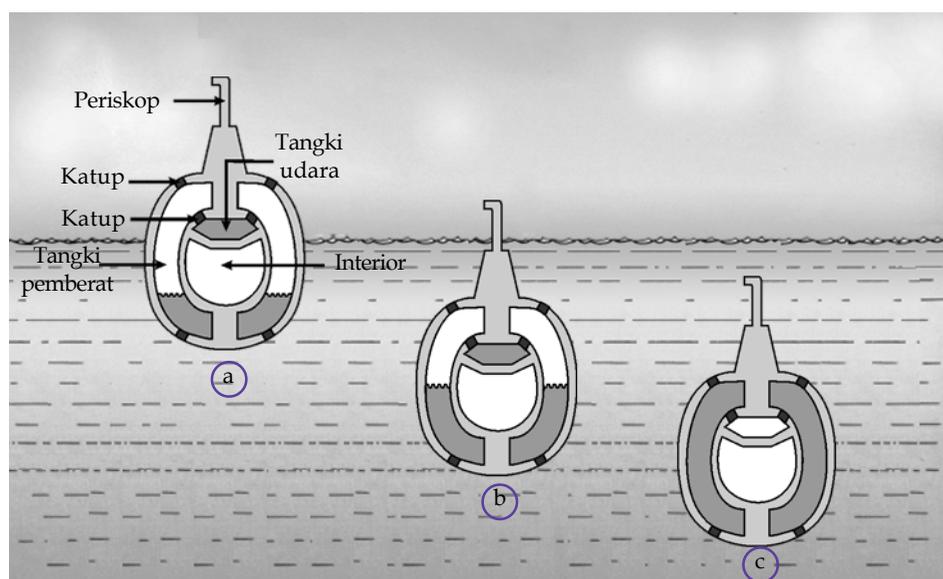
Gambar 7.16
 Kapal yang sama pada saat kosong dan penuh muatan. Volume air yang di pindahkan oleh kapal ditandai dengan tenggelamnya kapal hingga batas garis yang ditunjukkan oleh tanda panah.



Sumber: conceptual physics, 1993

Balok besi yang dicelupkan ke dalam air akan tenggelam, sedangkan balok besi yang sama jika dibentuk menyerupai perahu akan terapung. Hal ini disebabkan oleh jumlah fluida yang dipindahkan besi yang berbentuk perahu lebih besar daripada jumlah fluida yang dipindahkan balok besi. Besarnya gaya angkat yang dihasilkan perahu besi sebanding dengan volume perahu yang tercelup dan volume fluida yang dipindahkannya. Apabila gaya angkat yang dihasilkan sama besar dengan berat perahu maka perahu akan terapung. Oleh karena itu, kapal baja didesain cukup lebar agar dapat memindahkan volume fluida yang sama besar dengan berat kapal itu sendiri.

Gambar 7.17
 Penampang kapal selam ketika (a) terapung, (b) melayang, dan (c) tenggelam.



Sumber: www.yesmag. c.ca

Tahukah Anda apa yang menyebabkan kapal selam dapat terapung, melayang, dan menyelam? Kapal selam memiliki tangki pemberat di dalam lambungnya yang berfungsi mengatur kapal selam agar dapat terapung,



melayang, atau tenggelam. Untuk menyelam, kapal selam mengisi tangki pemberatnya dengan air sehingga berat kapal selam akan lebih besar daripada volume air yang dipindahkannya. Akibatnya, kapal selam akan tenggelam. Sebaliknya, jika tangki pemberat terisi penuh dengan udara (air laut dipompakan keluar dari tangki pemberat), berat kapal selam akan lebih kecil daripada volume kecil yang dipindahkannya sehingga kapal selam akan terapung. Agar dapat bergerak di bawah permukaan air laut dan melayang, jumlah air laut yang dimasukkan ke dalam tangki pemberat disesuaikan dengan jumlah air laut yang dipindahkannya pada kedalaman yang diinginkan.

c. Balon Udara

Balon berisi udara panas kali pertama diterbangkan pada tanggal 21 November 1783. Udara panas dalam balon memberikan gaya angkat karena udara panas di dalam balon lebih ringan daripada udara di luar balon.

Balon udara bekerja berdasarkan prinsip Hukum Archimedes. Menurut prinsip ini, dapat dinyatakan bahwa sebuah benda yang dikelilingi udara akan mengalami gaya angkat yang besarnya sama dengan volume udara yang dipindahkan oleh benda tersebut.



Sumber: icroso t ncarta, 2004

Gambar 7.18

Balon udara dapat mengambang di udara karena memanfaatkan prinsip Hukum Archimedes.

8. Tegangan Permukaan

Pernahkah Anda memerhatikan bentuk cairan obat yang keluar dari penetes obat atau bentuk raksa yang diteteskan di permukaan meja? Jika Anda perhatikan, tetesan cairan obat yang keluar dari alat penetesnya berbentuk bola-bola kecil. Demikian juga dengan bentuk air raksa yang diteteskan di permukaan meja.

Tetesan zat cair atau fluida cenderung untuk memperkecil luas permukaannya. Hal tersebut terjadi karena adanya tegangan permukaan. Apakah tegangan permukaan itu? Agar dapat memahami tentang tegangan permukaan zat cair, lakukanlah kegiatan **Mahir Meneliti 7.2** berikut.

Mahir Meneliti 7.2

Mengamati Tegangan Permukaan Zat Cair

Alat dan Bahan

1. Klip kertas atau silet
2. Bejana
3. Sabun cair

Prosedur

1. Isilah bejana dengan air.
2. Letakkanlah klip kertas atau silet dengan perlahan-lahan di permukaan air.
3. Amatilah apa yang terjadi pada klip kertas atau silet tersebut.
4. Selanjutnya, tuangkanlah sabun cair ke dalam bejana yang berisi air dan klip kertas atau silet.
5. Amatilah apa yang terjadi dengan klip kertas atau silet.
6. Bandingkanlah hasil pengamatan Anda pada langkah 5 dengan langkah 3. Apakah yang dapat Anda simpulkan dari kegiatan tersebut?
7. Dapatkah Anda menjelaskan pengaruh sabun cair terhadap tegangan permukaan?
8. Diskusikanlah dengan teman sekelompok dan guru Fisika Anda.

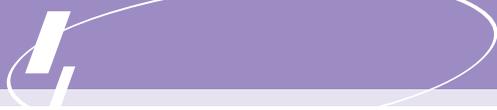
Contoh tegangan permukaan yang lain dapat Anda lihat jika Anda memasukkan sebuah gelang kawat yang dipasang benang ke dalam larutan sabun. Setelah dimasukkan ke dalam larutan sabun, pada gelang kawat akan



Sumber: icroso t ncarta, 2004

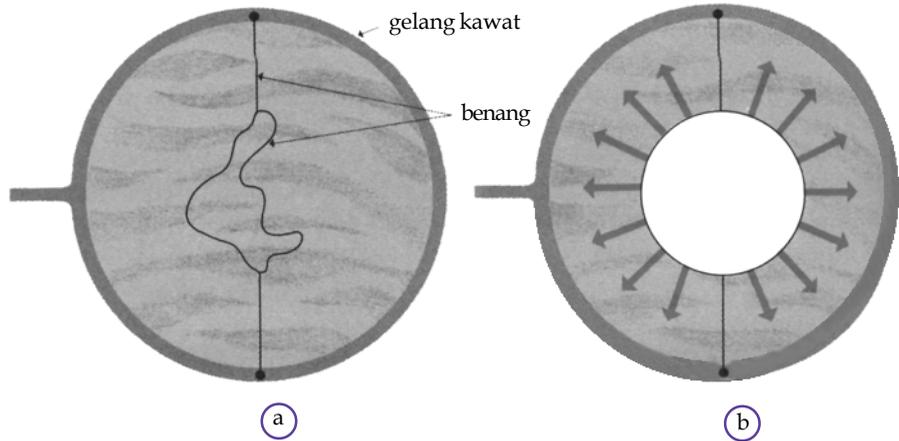
Gambar 7.19

Tegangan permukaan menyebabkan air yang jatuh pada daun membentuk permukaan sekecil mungkin. Peristiwa tersebut disebabkan adanya gaya kohesi antarmolekul air lebih besar daripada gaya adhesi antara air dan daun.



terdapat selaput tipis. Jika bagian tengah jerat benang ditusuk hingga pecah akan terlihat jerat benang yang pada mulanya berbentuk tidak beraturan, berubah menjadi berbentuk lingkaran.

Gelang kawat dan jerat benang yang dicelupkan ke dalam larutan sabun sebelum dan sesudah selaput tipis bagian tengahnya ditusuk terlihat seperti pada **Gambar 7.20** berikut.



Gambar 7.20

(a) Gelang kawat dengan bentangan benang di tengahnya ketika dimasukkan ke dalam larutan sabun. (b) Setelah gelang kawat dicelupkan ke dalam larutan sabun, benang menjadi teregang dan membentuk lingkaran.

Gambar 7.20b menunjukkan bahwa permukaan zat cair dapat dianggap berada dalam keadaan tegang sehingga zat-zat pada kedua sisi garis saling tarik-menarik.

Tegangan permukaan (γ) di dalam selaput didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya permukaan dan panjang permukaan yang tegak lurus gaya dan dipengaruhi oleh gaya tersebut.

Perhatikan **Gambar 7.21**. Gambar tersebut menunjukkan percobaan sederhana untuk melakukan pengukuran kuantitatif tentang tegangan permukaan. Seutas kawat dilengkungkan membentuk huruf U dan kawat kedua berperan sebagai peluncur yang diletakkan di ujung kawat berbentuk U. Ketika rangkaian kedua kawat tersebut dimasukkan ke dalam larutan sabun, kemudian dikeluarkan. Akibatnya, pada rangkaian kawat terbentuk selaput tipis cairan sabun. Selaput tipis tersebut akan memberikan gaya tegangan permukaan yang menarik peluncur kawat ke bagian atas kawat U (jika berat peluncur kawat sangat kecil). Ketika Anda menarik peluncur kawat ke bawah, luas permukaan selaput tipis akan membesar dan molekul-molekulnya akan bergerak dari bagian dalam cairan ke dalam lapisan permukaan.

Dalam keadaan setimbang, gaya tarik peluncur ke bawah sama dengan tegangan permukaan yang diberikan selaput tipis larutan sabun pada peluncur. Berdasarkan **Gambar 7.21**, gaya tarik peluncur ke bawah adalah

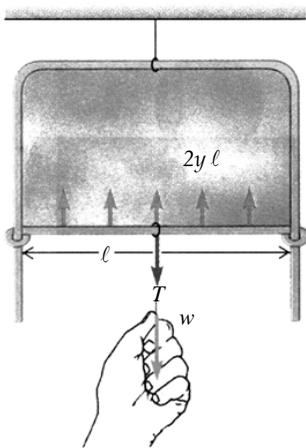
$$F = w + T$$

Jika ℓ adalah panjang peluncur kawat maka gaya F bekerja pada panjang total 2ℓ karena selaput tipis air sabun memiliki dua sisi permukaan. Dengan demikian, tegangan permukaan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya tegangan permukaan F dengan panjang d tempat gaya tersebut bekerja yang secara matematis dinyatakan dengan persamaan

$$\gamma = \frac{F}{d}$$

Oleh karena $d = 2\ell$, tegangan permukaan dinyatakan dengan persamaan

$$\gamma = \frac{F}{2\ell} \quad (7-15)$$



Gambar 7.21

Rangkaian kawat untuk mengukur tegangan permukaan selaput tipis larutan sabun. Dalam keadaan setimbang, gaya tegangan permukaan ke atas $2\gamma\ell$ sama dengan gaya tarik peluncur ke bawah $w + T$.

Tegangan permukaan suatu zat cair yang bersentuhan dengan uapnya sendiri atau udara hanya bergantung pada sifat-sifat dan suhu zat cair itu. Berikut harga tegangan permukaan berdasarkan eksperimen. Berikut ini nilai tegangan permukaan beberapa zat cair berdasarkan hasil eksperimen.

Tabel 7.2 Harga Tegangan Permukaan Berdasarkan Eksperimen

Zat Cair yang Berhubungan dengan Udara	t °C	Tegangan Permukaan dyne/cm
Air	0	75,6
Air	20	72,8
Air	60	66,2
Air	100	58,9
Air sabun	20	25,0
Benzena	20	28,9
Etil Alkohol	20	22,3
Gliserin	20	63,1
Helium	-269	0,12
Karbon Tertrakhlorida	20	26,8
Minyak Zaitun	20	32,0
Neon	-247	5,15
Oksigen	-193	15,7
Raksa	20	465

Sumber: ollege hysics, 1980

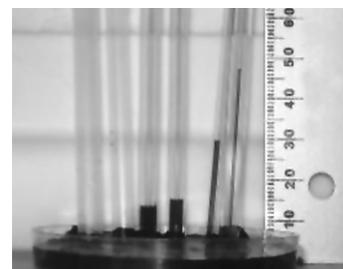
9. Kapilaritas

Kapilaritas adalah peristiwa naik atau turunnya permukaan zat cair pada pipa kapiler, seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 7.22**. Pada gambar tersebut, diameter dalam pipa kapiler dari kiri ke kanan semakin kecil. Semakin kecil diameter dalam pipa kapiler, kenaikan permukaan air di dalam pipa kapiler akan semakin tinggi.

Permukaan zat cair yang membasahi dinding, misalnya air, akan naik. Adapun yang tidak membasahi dinding, seperti raksa, akan turun. Dalam kehidupan sehari-hari, contoh-contoh gejala kapiler adalah sebagai berikut. Minyak tanah naik melalui sumbu lampu minyak tanah atau sumbu kompor, dinding rumah basah pada musim hujan, air tanah naik melalui pembuluh kayu.

Peristiwa air membasahi dinding, atau raksa tidak membasahi dinding dapat dijelaskan dengan memperhatikan gaya tarik-menarik antarpartikel. Gaya tarik-menarik antarpartikel sejenis disebut *kohesi*, sedangkan gaya tarik-menarik antarpartikel tidak sejenis disebut *adhesi*. Air membasahi dinding kaca karena adanya gaya kohesi antarpartikel air yang lebih kecil daripada gaya adhesi antara partikel air dan partikel dinding kaca. Sedangkan, raksa memiliki gaya kohesi lebih besar daripada gaya adhesinya dengan dinding kaca sehingga tidak membasahi dinding kaca. Gaya adhesi air yang lebih besar dari kohesinya menyebabkan permukaan air berbentuk meniskus cekung, sedangkan gaya kohesi raksa lebih besar dari gaya adhesinya sehingga menyebabkan permukaan raksa berbentuk meniskus cembung.

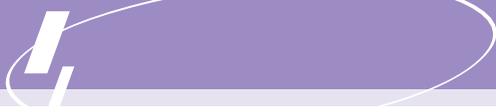
Jika zat cair dimasukkan ke dalam suatu pipa kapiler, permukaan zat cair tersebut akan melengkung. Permukaan melengkung zat cair di dalam pipa disebut meniskus.



Sumber: www.wtamu.edu

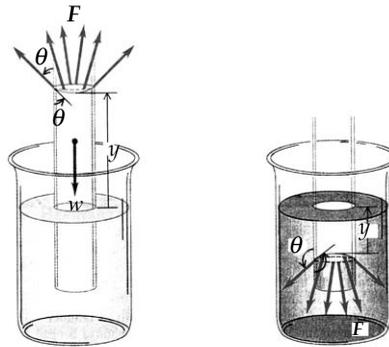
Gambar 7.22

Tabung pipa kapiler



Gambar 7.23

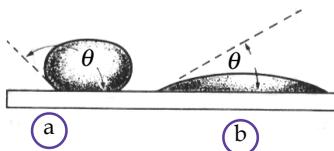
Gaya tegangan permukaan pada fluida dalam tabung kapiler:
 Fluida naik jika $\theta < 90^\circ$ dan turun jika $\theta > 90^\circ$.



Gambar 7.23 memperlihatkan gaya tegangan permukaan cairan di dalam pipa kapiler. Bentuk permukaan cairan di dalam pipa kapiler bergantung pada sudut kontak (θ) cairan tersebut. Permukaan cairan akan naik jika $\theta < 90^\circ$ dan turun jika $\theta > 90^\circ$.

Naik atau turunnya permukaan zat cair dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 mg &= F \cos \theta \\
 \rho Vg &= \gamma l \cos \theta \\
 \rho \pi r^2 hg &= \gamma 2 \pi r \cos \theta \\
 \boxed{h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r}} & \quad (7-16)
 \end{aligned}$$



Gambar 7.24

Efek bertambah kecilnya sudut kontak yang ditimbulkan suatu zat pencemar.

dengan: h = kenaikan atau penurunan zat cair (m),

γ = tegangan permukaan (N/m),

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

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

Jika suatu zat cair membasahi dinding pipa, sudut kontakanya kurang dari 90° dan zat cair itu naik hingga mencapai tinggi kesetimbangan. Zat pencemar yang ditambahkan pada zat cair akan mengubah sudut kontak itu, misalnya *detergent* mengubah sudut kontak yang besarnya lebih dari 90° menjadi lebih kecil dari 90° . Sebaliknya, zat-zat yang membuat kain tahan air (*waterproof*) menyebabkan sudut kontak air dengan kain menjadi lebih besar dari 90° . Berikut beberapa nilai sudut kontak antara zat cair dan dinding pipa kapilernya.

Tabel 7.3 Sudut Kontak

Zat Cair	Dinding	Sudut Kontak
α - Bromnaftalen ($C_{10}H_7Br$)	Gelas Biasa	5°
	Gelas Timbel	$6^\circ 45'$
	Gelas Tahan Panas (<i>Pyrex</i>)	$20^\circ 30'$
	Gelas Kuarsa	21°
Metenilena Yodida (CH_2I_2)	Gelas Biasa	29°
	Gelas Timbel	30°
	Gelas Tahan Panas (<i>Pyrex</i>)	29°
	Gelas Kuarsa	33°
Air	Parafin	107°
Raksa	Gelas Biasa	140°

Sumber: college physics, 1980

Kata Kunci

- Hukum Archimedes
- Hukum Pascal
- Hukum Utama Hidrostatik
- Kapilaritas
- Sudut kontak
- Tegangan permukaan
- Tekanan hidrostatik
- Tekanan udara luar

Contoh 7.11

Suatu tabung berdiameter 0,4 cm jika dimasukkan secara vertikal ke dalam air, sudut kontaknya 60° . Jika tegangan permukaan air $0,5 \text{ N/m}$ dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukanlah kenaikan air pada tabung.

Jawab

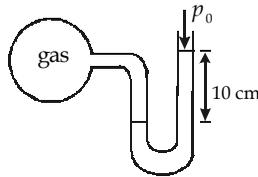
Diketahui: $d_{\text{tabung}} = 0,4 \text{ cm}$, $\theta = 60^\circ$, $\gamma = 0,5 \text{ N/m}$, dan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r} = \frac{2(0,5 \text{ N/m})(\cos 60^\circ)}{(10^3 \text{ kg/m}^3)(10 \text{ m/s}^2)(0,2 \times 10^{-2} \text{ m})} = 0,025 \text{ m} = 2,5 \text{ cm}.$$

Soal Penguasaan Materi 7.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Tiga buah tabung identik diisi fluida. Jika tabung pertama berisi raksa setinggi 2 cm, tabung kedua berisi air setinggi 12 cm dan tabung ketiga berisi gliserin setinggi 10 cm, tentukanlah tekanan hidrostatik di dasar tabung yang paling kecil dan paling besar ($g = 10 \text{ m/s}^2$).
2. Diketahui tekanan udara luar 1 atm (anggap 1 atm = 10^5 N dan $g = 10 \text{ m/s}^2$). Tentukanlah kedalaman danau yang tekanan total di bawah permukaannya 2 atm.
3. Pipa U seperti pada gambar dihubungkan dengan tabung yang berisi gas. Pipa U berisi raksa. Jika tekanan udara luar 1 atm, berapakah tekanan gas dalam satuan cmHg?
4. Alat pengangkat mobil yang memiliki luas pengisap dengan perbandingan 1 : 1000 digunakan untuk mengangkat mobil seberat $1,5 \times 10^4 \text{ N}$, berapakah besar gaya yang harus diberikan pada pengisap yang kecil?
5. Jika sebuah benda dicelupkan ke dalam air maka $\frac{1}{3}$ bagiannya muncul di permukaan air. Jika benda yang sama, kemudian dicelupkan ke dalam suatu



larutan lain yang memiliki massa jenis $\frac{8}{9} \text{ g/cm}^3$, berapa bagian benda yang muncul di permukaan larutan?

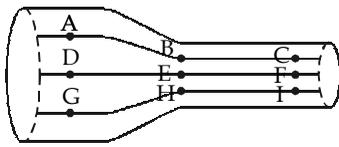
6. Sebuah benda memiliki berat 20 N. Jika benda dicelupkan ke dalam minyak ($\rho_{\text{minyak}} = 0,8 \text{ g/cm}^3$) maka berat benda seolah-olah 16 N. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, hitunglah:
 - a. gaya ke atas yang dialami benda, dan
 - b. volume benda.
7. Air raksa memiliki massa jenis $13,6 \text{ g/cm}^3$. Pada air raksa tersebut dimasukkan tabung kecil dengan diameter 5 mm. Ternyata air raksa di dalam tabung 2 cm lebih rendah dari air raksa di luar tabung. Jika sudut kontaknya 127° ($\tan 127^\circ = \frac{3}{4}$), berapakah tegangan permukaan raksa tersebut?
8. Jika sebuah pipa kapiler berdiameter 0,8 mm dice-lupkan ke dalam metanol, permukaan metanol naik sampai ketinggian 15,0 mm. Jika besar sudut kontak nol, hitunglah tegangan permukaan metanol (berat jenis metanol 0,79).

B Fluida Dinamis

Pada subbab ini Anda akan mempelajari hukum-hukum Fisika yang berlaku pada fluida bergerak (dinamis). Pada pembahasan mengenai fluida statis, Anda telah memahami bahwa hukum-hukum Fisika tentang fluida dalam keadaan statis bergantung pada massa jenis dan kedalaman titik pengamatan dari permukaan fluida. Tahukah Anda besaran-besaran yang berperan pada fluida dinamis? Untuk mengetahuinya, pelajarylaha bahasan dalam subbab ini.

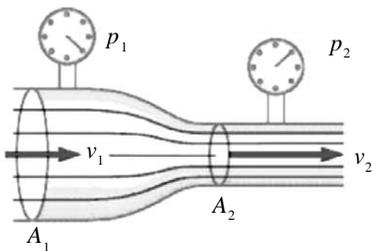
1. Persamaan Kontinuitas

Dalam mempelajari materi fluida dinamis, suatu fluida dianggap sebagai fluida ideal. Fluida ideal adalah fluida yang memiliki ciri-ciri berikut ini.



Gambar 7.25

Setiap partikel fluida ideal mengalir menurut garis alirannya masing-masing dan tidak pernah memotong garis aliran partikel lain.



Gambar 7.26

Kecepatan aliran fluida di pipa berpenampang besar (v_1) lebih kecil daripada kecepatan aliran fluida di pipa berpenampang kecil (v_2). Adapun, tekanan di pipa berpenampang besar (p_1) lebih besar daripada tekanan di pipa berpenampang kecil (p_2).

- Fluida tidak dapat dimampatkan (*incompressible*), yaitu volume dan massa jenis fluida tidak berubah akibat tekanan yang diberikan kepadanya.
- Fluida tidak mengalami gesekan dengan dinding tempat fluida tersebut mengalir.
- Kecepatan aliran fluida bersifat laminar, yaitu kecepatan aliran fluida di sembarang titik berubah terhadap waktu sehingga tidak ada fluida yang memotong atau mendahului titik lainnya.

Jika lintasan sebuah titik dalam aliran fluida ideal dilukiskan, akan diperoleh suatu garis yang disebut garis aliran (*streamline* atau *laminar flow*). Perhatikanlah **Gambar 7.25**. Suatu fluida ideal mengalir di dalam pipa. Setiap partikel fluida tersebut akan mengalir mengikuti garis aliran laminernya dan tidak dapat berpindah atau berpotongan dengan garis aliran yang lain.

Pada kenyataannya, Anda akan sulit menemukan fluida ideal. Sebagian besar aliran fluida di alam bersifat turbulen (*turbulent flow*). Garis aliran turbulen memiliki kecepatan aliran yang berbeda-beda di setiap titik.

Debit aliran adalah besaran yang menunjukkan volume fluida yang mengalir melalui suatu penampang setiap satuan waktu. Secara matematis, persamaannya dituliskan sebagai berikut.

$$Q = \frac{V}{t} = Av \quad (7-17)$$

dengan: V = volume fluida yang mengalir (m^3),
 t = waktu (s),
 A = luas penampang (m^2),
 v = kecepatan aliran (m/s), dan
 Q = debit aliran fluida (m^3/s).

Untuk fluida sempurna (ideal), yaitu zat alir yang tidak dapat dimampatkan dan tidak memiliki kekentalan (viskositas), hasil kali laju aliran fluida dengan luas penampangnya selalu tetap. Secara matematis, dituliskan sebagai berikut.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (7-18)$$

Persamaan 7.18 di atas disebut juga persamaan kontinuitas.

Contoh 7.11

Sebuah pipa lurus memiliki dua macam penampang, masing-masing dengan luas penampang 200 mm^2 dan 100 mm^2 . Pipa tersebut diletakkan secara horisontal, 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.

Jawab

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

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

$$\begin{aligned} \text{b. } Q &= \frac{V}{t} = Av \rightarrow V = Avt \\ &= (200 \times 10^{-6} \text{ m}^2) (2 \text{ m/s}) (60 \text{ s}) = 24 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 2,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3. \end{aligned}$$

2. Persamaan Bernoulli

Perhatikanlah **Gambar 7.27**. Suatu fluida bergerak dari titik A yang ketinggiannya h_1 dari permukaan tanah ke titik B yang ketinggiannya h_2 dari permukaan tanah. Pada pelajaran sebelumnya, Anda telah mempelajari Hukum Kekekalan Energi Mekanik pada suatu benda. Misalnya, pada benda yang jatuh dari ketinggian tertentu dan pada anak panah yang lepas dari busurnya. Hukum Kekekalan Energi Mekanik juga berlaku pada fluida yang bergerak, seperti pada **Gambar 7.27**. Menurut penelitian Bernoulli, suatu fluida yang bergerak mengubah energinya menjadi tekanan.

Secara lengkap, Hukum Bernoulli menyatakan bahwa jumlah tekanan, energi kinetik per satuan volume, dan energi potensial per satuan volume memiliki nilai yang sama di setiap titik sepanjang aliran fluida ideal. Persamaan matematisnya, dituliskan sebagai berikut.

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{konstan} \quad (7-19)$$

atau

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \quad (7-20)$$

dengan: p = tekanan (N/m^2),
 v = kecepatan aliran fluida (m/s),
 g = percepatan gravitasi (m/s^2),
 h = ketinggian pipa dari tanah (m), dan
 ρ = massa jenis fluida.

3. Penerapan Persamaan Bernoulli

Hukum Bernoulli diterapkan dalam berbagai peralatan yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Berikut uraian mengenai cara kerja beberapa alat yang menerapkan Hukum Bernoulli.

a. Alat Ukur Venturi

Alat ukur venturi (venturimeter) dipasang dalam suatu pipa aliran untuk mengukur laju aliran suatu zat cair.

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. Perhatikan **Gambar 7.28**. Kecepatan aliran zat cair di dalam pipa dapat diukur dengan persamaan.

$$v = A_2 \sqrt{\frac{2(\rho' - \rho)gh}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}} \quad (7-21)$$

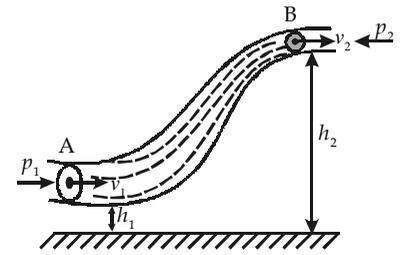
Contoh 7.12

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 ($\rho_{\text{raksa}} = 13.600 \text{ kg/m}^3$).

Jawab

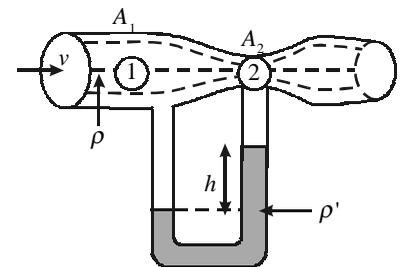
Diketahui: $A_1 = 8 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, $A_2 = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, $h = 0,2 \text{ m}$, dan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

$$v = A_2 \sqrt{\frac{2(\rho' - \rho)gh}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}} = 5 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{2(13.600 \text{ kg/m}^3 - 1.000 \text{ kg/m}^3)(10 \text{ m/s}^2)(0,2 \text{ m})}{1.000 \text{ kg/m}^3[(8 \times 10^{-2} \text{ m}^2)^2 - (5 \times 10^{-3} \text{ m}^2)^2]}} = 0,44 \text{ m/s}$$



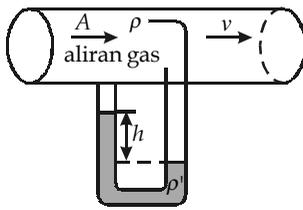
Gambar 7.27

Fluida bergerak dalam pipa yang ketinggian dan luas penampangnya yang berbeda. Fluida naik dari ketinggian h_1 ke h_2 dan kecepatannya berubah dari v_1 ke v_2 .



Gambar 7.28

Penampang pipa menyempit di bagian 2 sehingga tekanan di bagian pipa sempit lebih kecil dan fluida bergerak lebih lambat.



Gambar 7.29
Prinsip kerja pipa Prandtl.

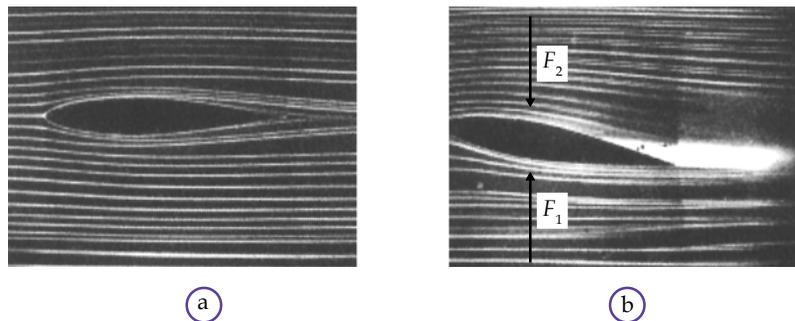
b. Tabung Pitot (Pipa Prandtl)

Tabung pitot digunakan untuk mengukur kelajuan aliran suatu gas di dalam sebuah pipa. Perhatikanlah **Gambar 7.29**. Misalnya udara, mengalir melalui tabung A dengan kecepatan v . Kelajuan udara v di dalam pipa dapat ditentukan dengan persamaan

$$v = \sqrt{\frac{2\rho'gh}{\rho}} \quad (7-22)$$

c. Gaya Angkat pada Sayap Pesawat Terbang

Penampang sayap pesawat terbang memiliki bagian belakang yang lebih tajam dan sisi bagian atasnya lebih melengkung daripada sisi bagian bawahnya. Bentuk sayap tersebut menyebabkan kecepatan aliran udara bagian atas lebih besar daripada di bagian bawah sehingga tekanan udara di bawah sayap lebih besar daripada di atas sayap. Hal ini menyebabkan timbulnya daya angkat pada sayap pesawat. Agar daya angkat yang ditimbulkan pada pesawat semakin besar, sayap pesawat dimiringkan sebesar sudut tertentu terhadap arah aliran udara. Perhatikanlah **Gambar 7.30**.



Gambar 7.30
(a) Ketika sayap pesawat horizontal, sayap tidak mengalami gaya angkat.
(b) Ketika sayap pesawat dimiringkan, pesawat mendapat gaya angkat sebesar $F_1 - F_2$.

Gaya angkat pada sayap pesawat terbang dirumuskan sebagai berikut

$$F_1 - F_2 = \frac{1}{2} \rho A (v_2^2 - v_1^2) \quad (7-23)$$

dengan: $F_1 - F_2$ = gaya angkat pesawat terbang (N),
 A = luas penampang sayap pesawat (m^2),
 v_1 = kecepatan udara di bagian bawah sayap (m/s),
 v_2 = kecepatan udara di bagian atas sayap (m/s), dan
 ρ = massa jenis fluida (udara).

Contoh 7.13

Sebuah pesawat terbang bergerak dengan kecepatan tertentu sehingga udara yang melalui bagian atas dan bagian bawah sayap pesawat yang luas permukaannya $50 m^2$ bergerak dengan kelajuan masing-masing $320 m/s$ dan $300 m/s$. Berapakah besarnya gaya angkat pada sayap pesawat terbang tersebut? ($\rho_{\text{udara}} = 1,3 kg/m^3$)

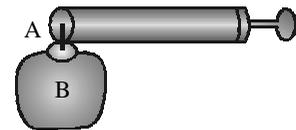
Jawab

Diketahui: $A = 50 m^2$, $v_2 = 320 m/s$, $v_1 = 300 m/s$, dan $\rho_{\text{udara}} = 1,3 kg/m^3$.

$$\begin{aligned} F_1 - F_2 &= \frac{1}{2} \rho A (v_2^2 - v_1^2) \\ &= \frac{1}{2} (1,3 kg/m^3)(50 m^2)(320 m/s)^2 - (300 m/s)^2 = 403.000 N \end{aligned}$$

d. Penyemprot Nyamuk

Alat penyemprot nyamuk juga bekerja berdasarkan Hukum Bernoulli. Tinjaulah alat penyemprot nyamuk pada **Gambar 7.31**. Jika pengisap dari pompa ditekan maka udara yang melewati pipa sempit pada bagian A akan memiliki kelajuan besar dan tekanan kecil. Hal tersebut menyebabkan cairan obat nyamuk yang ada pada bagian B akan naik dan ikut terdorong keluar bersama udara yang tertekan oleh pengisap pompa.



Gambar 7.31

$p_B < p_A$ sehingga cairan obat nyamuk di B bisa memancar keluar.

e. Kebocoran Pada Dinding Tangki

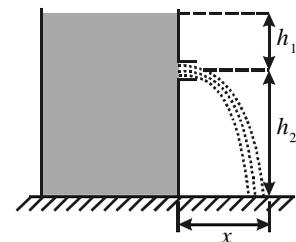
Jika air di dalam tangki mengalami kebocoran akibat adanya lubang di dinding tangki, seperti terlihat pada **Gambar 7.32**, kelajuan air yang memancar keluar dari lubang tersebut dapat dihitung berdasarkan Hukum Toricelli.

Menurut Hukum Toricelli, jika diameter lubang kebocoran pada dinding tangki sangat kecil dibandingkan diameter tangki, kelajuan air yang keluar dari lubang sama dengan kelajuan yang diperoleh jika air tersebut jatuh bebas dari ketinggian h . Perhatikanlah kembali **Gambar 7.32** dengan saksama. Jarak permukaan air yang berada di dalam tangki ke lubang kebocoran dinyatakan sebagai h_1 , sedangkan jarak lubang kebocoran ke dasar tangki dinyatakan h_2 . Kecepatan aliran air pada saat kali pertama keluar dari lubang adalah

$$v = \sqrt{2gh_1} \quad (7-24)$$

Jarak horizontal tibanya air di tanah adalah

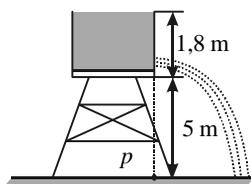
$$x = 2\sqrt{h_1 h_2} \quad (7-25)$$



Gambar 7.32

Tangki dengan sebuah lubang kecil di dindingnya. Kecepatan aliran air yang keluar dari tangki sama dengan kecepatan benda yang jatuh bebas.

Contoh 7.14



Gambar di samping menunjukkan sebuah reservoir yang penuh dengan air. Pada dinding bagian bawah reservoir itu bocor hingga air memancar sampai di tanah. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukanlah:

- kecepatan air keluar dari bagian yang bocor;
- waktu yang diperlukan air sampai ke tanah;
- jarak pancaran maksimum di tanah diukur dari titik P.

Jawab

Diketahui: $h_1 = 1,8 \text{ m}$, $h_2 = 5 \text{ m}$, dan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- $v = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{(2)(10 \text{ m/s}^2)(1,8 \text{ m})} = 6 \text{ m/s}$
- $h_2 = \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2h_2}{g}} = \sqrt{\frac{(2)(5 \text{ m})}{10}} = 1 \text{ sekon}$
- $x = vt = (6 \text{ m/s})(1 \text{ s}) = 6 \text{ m}$ atau $x = 2\sqrt{(h_1)(h_2)} = 2\sqrt{(1,8 \text{ m})(5 \text{ m})} = 6 \text{ m}$

4. Viskositas

Viskositas (kekentalan) fluida menyatakan besarnya gesekan yang dialami oleh suatu fluida saat mengalir. Pada pembahasan sebelumnya, Anda telah mengetahui bahwa fluida ideal tidak memiliki viskositas. Dalam kenyataannya, fluida yang ada dalam kehidupan sehari-hari adalah fluida sejati. Oleh karena itu, bahasan mengenai viskositas hanya akan Anda temukan pada fluida sejati, yaitu fluida yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut.

- Dapat dimampatkan (kompresibel);
- Mengalami gesekan saat mengalir (memiliki viskositas);
- Alirannya turbulen.

Jelajah Fisika

Bacharuddin Jusuf Habibie



Habibie adalah seorang putra Indonesia yang dilahirkan di Pare-Pare, Sulawesi Selatan pada tanggal 25 Juli 1936. Kecermelangannya dalam ilmu pengetahuan dan teknologi dibuktikan dengan ditemukannya Teori Habibie, Faktor Habibie, dan Metode Habibie yang diaplikasikan dalam teknologi pesawat terbang. Prestasi keilmuan Habibie ini mendapat pengakuan di dunia internasional. Ia juga berhasil menciptakan pesawat terbang pertama buatan Indonesia, yaitu CN-235 dan N-250.

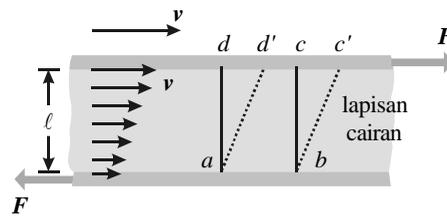
Sumber: www.aist.ac.p



Zat cair dan gas memiliki viskositas, hanya saja zat cair lebih kental (*viscous*) daripada gas. Dalam penggunaan sehari-hari, viskositas dikenal sebagai ukuran ketahanan oli untuk mengalir dalam mesin kendaraan. Viskositas oli didefinisikan dengan nomor SAE'S (Society of Automotive Engineer's). Contoh pada sebuah pelumas tertulis

API SERVICE SJ
SAE 20W - 50

Klasifikasi *service* minyak pelumas ini dikembangkan oleh API (*American Petroleum Institute*) yang menunjukkan karakteristik *service* minyak pelumas dari skala terendah (SA) sampai skala tertinggi (SJ) untuk mesin-mesin berbahan bakar bensin.



Gambar 7.33

Aliran laminar cairan kental

Koefisien viskositas fluida η , didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan luncur $\left(\frac{F}{A}\right)$ dengan kecepatan perubahan regangan luncur $\left(\frac{v}{l}\right)$. Secara matematis, persamaannya ditulis sebagai berikut.

$$\eta = \frac{\text{tegangan luncur}}{\text{cepat perubahan tegangan luncur}} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{v}{l}}$$

atau

$$F = \eta A \frac{v}{l} \quad (7-26)$$

Nilai viskositas setiap fluida berbeda menurut jenis material tempat fluida tersebut mengalir. Nilai viskositas beberapa fluida tertentu dapat Anda pelajari pada **Tabel 7.2**.

Tabel 7.2 Harga Tegangan Permukaan Berdasarkan Eksperimen

Fluida	Viskositas	Keterangan
Uap Air 100°C	0,125 cP	Poiseuille dan Poise adalah satuan viskositas dinamis, juga disebut viskositas absolut. 1 Poiseuille (PI) = 10 Poise (P) = 1.000 cP
Air 99°C	0,2848 cP	
Light Machine Oil 20°C	102 cP	
Motor Oil SAE 10	50-100 cP, 65 cP	
Motor Oil SAE 20	125 cP	
Motor Oil SAE 30	150-200 cP	
Sirup Cokelat pada 20°C	25.000 cP	
Kecap pada 20°C	50.000 cP	

Sumber: people.ece.cornell.edu

Jelajah Fisika

Daniel Bernoulli
(1700-1782)



Bernoulli adalah seorang ahli Fisika dan Matematika yang berasal dari Swiss. Penemuannya yang sangat terkenal adalah mengenai hidrodinamika, yaitu Hukum Bernoulli. Ia juga menemukan bahwa perilaku gas berhubungan dengan perubahan tekanan dan suhu gas tersebut. Penemuan tersebut mendasari teori kinetik gas.

Sumber: people.ece.cornell.edu

Benda yang bergerak dalam fluida kental mengalami gaya gesek yang besarnya dinyatakan dengan persamaan

$$F_f = \eta A \frac{v}{\ell} = \frac{A}{\ell} \eta v = k \eta v$$

Untuk benda berbentuk bola, $k = 6r$ (perhitungan laboratorium) sehingga, diperoleh

$$F_f = 6\pi r \eta v \quad (7-27)$$

Persamaan (7-27) dikenal sebagai Hukum Stokes.

Jika sebuah benda berbentuk bola (kelereng) jatuh bebas dalam suatu fluida kental, kecepatannya akan bertambah karena pengaruh gravitasi Bumi hingga mencapai suatu kecepatan terbesar yang tetap. Kecepatan terbesar yang tetap tersebut dinamakan *kecepatan terminal*.

Pada saat kecepatan terminal tercapai, berlaku keadaan

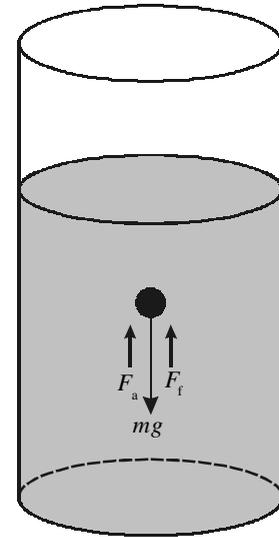
$$\begin{aligned} \sum F &= 0 \\ F_f + F_A &= mg \\ F_f &= mg - F_A \\ 6\pi r \eta v_T &= \rho_b v_b g - \rho_f v_b g \\ &= (\rho_b - \rho_f) V_b g \\ v_T &= \frac{g v_b (\rho_b - \rho_f)}{6\pi \eta r} \end{aligned}$$

Pada benda berbentuk bola, volumenya $v_b = \frac{4}{3}\pi r^3$ sehingga diperoleh persamaan

$$v_T = \frac{g \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right) (\rho_b - \rho_f)}{6\pi \eta r}$$

$$v_T = \frac{2}{9} \frac{r^2 g}{\eta} (\rho_b - \rho_f) \quad (7-28)$$

dengan: v_t = kecepatan terminal (m/s),
 F_f = gaya gesek (N),
 F_A = gaya ke atas (N),
 ρ_b = massa jenis bola (kg/m³), dan
 ρ_f = massa jenis fluida (kg/m³).



Gambar 7.34

Sebuah bola jatuh bebas ke dalam fluida yang memiliki viskositas tertentu.

Kata Kunci

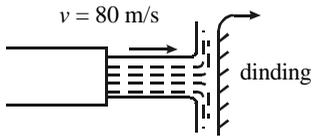
- Fluida ideal
- Fluida sejati
- Hukum Stokes
- Persamaan kontinuitas
- Persamaan Bernoulli
- Viskositas

Soal Penguasaan Materi 7.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

- Sejumlah fluida ideal dengan kecepatan 3 m/s di dalam pipa bergaris tengah 4 cm masuk ke dalam pipa bergaris tengah 8 cm. Tentukanlah kecepatan fluida dalam pipa bergaris tengah 8 cm.
- Sebuah pipa lurus memiliki dua macam penampang, masing-masing 0,1 m² dan 0,05 m². Pipa tersebut diletakkan miring sehingga penampang kecil berada 2 m lebih tinggi daripada penampang besar. Tekanan air pada penampang kecil 2×10^5 N/m² dan kelajuan air pada penampang besar 5 m/s, tentukanlah:
 - laju air pada penampang kecil dan tekanan air pada penampang besar, dan
 - volume air yang melalui pipa setiap menit.
- Sebuah pancuran yang diameter lubangnya 1 cm terletak pada permukaan tanah. Pancuran tersebut dibuat untuk menyemburkan kolom air vertikal ke atas setinggi 16 m. Untuk keperluan itu pipa pancur dengan diameter 4 cm dihubungkan ke sebuah pompa air yang terletak 10 m di bawah tanah. Jika besar tekanan udara luar 1 atm, berapakah tekanan pompa tersebut?

4.



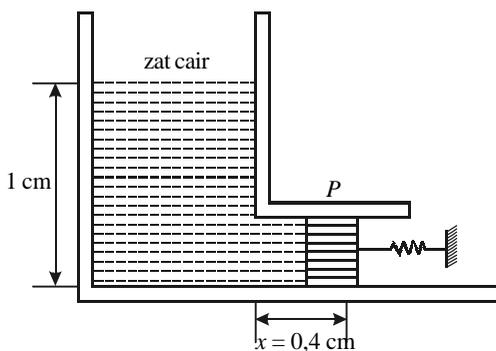
Sebuah pipa memancarkan air dengan kecepatan 80 cm/s dengan debit 30 cm³/s sehingga mengenai dinding. Setelah mengenai dinding, air bergerak sejajar dengan dinding, seperti tampak pada gambar. Jika massa 1cm³ air adalah 1 gram, tentukanlah besar gaya yang dialami dinding.

5. Air mengalir dengan kecepatan 3 m/s dalam sebuah pipa horizontal pada tekanan 200 kPa. Pipa mengecil menjadi setengah diameternya semula.

- Berapakah kelajuan aliran di bagian pipa yang sempit?
- Berapakah tekanan di bagian pipa yang sempit?
- Bagaimanakah perbandingan kelajuan aliran air di kedua bagian pipa tersebut?

- Tentukanlah koefisien viskositas udara apabila kecepatan terminal satu tetes air hujan berdiameter 0,5 mm yang jatuh adalah 7,5 m/s. (Diketahui massa jenis udara = 1,3 kg/m³ dan percepatan gravitasi Bumi = 10 m/s²)
- Sebuah kelereng berdiameter 1 cm dijatuhkan secara bebas dalam oli yang massa jenisnya = 0,8 g/cm³. Jika koefisien kekentalan oli 0,03 Pas, massa jenis kelereng 2,6 g/cm³ dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapakah kecepatan terbesar yang dicapai kelereng?

Pembahasan Soal SPMB



Untuk menentukan massa jenis zat cair, dibuat rangkaian alat seperti gambar di atas. Pengisap P dapat bergerak bebas dengan luas penampang 1 cm². Jika konstanta pegas = 100 N/m dan pegas tertekan sejauh 0,4 cm, massa jenis zat cair adalah

- 400 kg/m³
- 500 kg/m³
- 750 kg/m³
- 800 kg/m³
- 1.000 kg/m³

Penyelesaian

Pegas tertekan oleh gaya yang besarnya

$$F = k \Delta x$$

$$F = (100 \text{ N/m})(0,4 \times 10^{-2} \text{ m})$$

$$F = 0,4 \text{ N}$$

Tekanan zat cair (p):

$$p = \rho gh$$

$p = \frac{F}{A}$ merupakan besar tekanan zat cair yang menekan pegas, dengan F = gaya yang menekan pegas.

$$\rho gh = \frac{F}{A}$$

$$\rho = \frac{F}{Agh}$$

$$\rho = \frac{0,4 \text{ N}}{(1 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(10 \text{ m/s}^2)(1 \text{ m})}$$

$$\rho = 400 \text{ kg/m}^3$$

Jawab: a

Soal UMPTN IPA 2001

Rangkuman

- Tekanan** adalah gaya yang bekerja pada suatu permukaan dibagi luas permukaan tersebut.

$$p = \frac{F}{A} \quad (\text{N/m}^2 = \text{Pascal})$$

- Tekanan hidrostatik** adalah tekanan yang disebabkan oleh fluida tak bergerak.

$$p_h = \rho gh \quad (\text{N/m}^2)$$

Apabila tekanan udara luar (ρ_0) diperhitungkan, tekanan hidrostatik ditulis

$$p_A = p_0 + \rho gh$$

- Hukum Pascal** menyatakan tentang sifat fluida yang meneruskan tekanan ke segala arah sama besar.

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

- Hukum Archimedes** menyatakan bahwa gaya ke atas yang dialami oleh sebuah benda dalam suatu fluida sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut.

$$F_A = \rho_f V_f g$$

5. **Tegangan permukaan** (γ) terjadi karena adanya gaya kohesi dan adhesi pada fluida. Secara matematis, dinyatakan dengan persamaan

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

6. **Kapilaritas** adalah peristiwa naik atau turunnya permukaan zat cair pada pipa kapiler. Gaya kohesi dan adhesi menyebabkan timbulnya meniskus cekung atau meniskus cembung pada permukaan fluida. Persamaan kapilaritas tersebut adalah

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

7. **Fluida ideal** adalah fluida yang tidak dapat dimampatkan, tidak mengalami gaya gesek ketika mengalir, dan alirannya stasioner.

8. **Fluida sejati** adalah fluida yang memiliki sifat dapat dimampatkan, memiliki viskositas, dan alirannya tidak stasioner (turbulen).

9. Persamaan kontinuitas menyatakan bahwa debit air (Q) selalu tetap.

$$Q_1 = Q_2 \\ A_1 v_1 = A_2 v_2$$

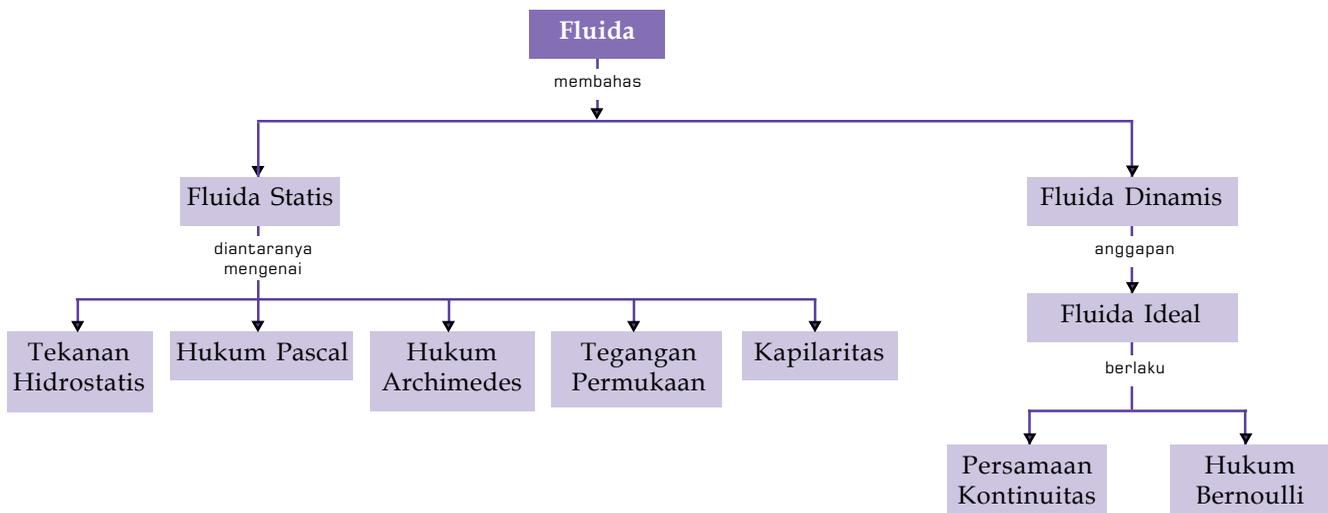
10. **Hukum Bernoulli** menyatakan bahwa tekanan, energi kinetik dan energi potensial per satuan volume fluida yang mengalir, nilainya sama di setiap titik aliran fluida.

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

11. **Viskositas** (kekentalan) suatu fluida dirumuskan dalam Hukum Stokes sebagai berikut.

$$F = 6\pi\eta r.$$

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari bab Fluida, Anda dapat menganalisis hukum-hukum yang berhubungan dengan fluida statis, fluida dinamis, serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Jika Anda belum mampu menganalisis, Anda belum menguasai materi bab Fluida dengan baik. Rumuskan materi yang belum

Anda pahami, lalu cobalah Anda tuliskan kata-kata kunci tanpa melihat kata kunci yang telah ada dan tuliskan pula rangkuman serta peta konsep berdasarkan versi Anda. Jika perlu, diskusikan dengan teman-teman atau guru Fisika Anda.