

FISIKA

FLUIDA STATIS

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, kamu diharapkan memiliki kemampuan berikut.

1. Memahami definisi fluida statis.
2. Memahami sifat-sifat fluida statis dan besaran-besaran yang terlibat di dalamnya.
3. Memahami hukum-hukum yang berhubungan dengan fluida statis.
4. Menerapkan konsep fluida statis dalam kehidupan sehari-hari.

A. Fluida

Fluida adalah zat yang dapat mengalir dan memberikan sedikit hambatan terhadap perubahan bentuk ketika ditekan. Fluida memiliki beberapa sifat, di antaranya adalah tidak menolak pada perubahan bentuk, memiliki kemampuan untuk mengalir, dan memiliki kemampuan untuk menempati suatu wadah atau ruang. Dari jenis-jenis zat yang telah diketahui, yang memiliki sifat fluida tersebut hanyalah zat cair dan gas.

Fluida dibagi menjadi dua, yaitu fluida statis dan fluida dinamis. Pada sesi ini, kita akan belajar tentang fluida statis, yaitu fluida yang diam/tidak mengalir. Ada beberapa hukum dasar dalam fluida statis. Namun, sebelum mempelajarinya, kita harus mengetahui beberapa sifat penting dan besaran-besaran yang terlibat dalam pembahasan fluida berikut ini.

1. Kompresibel dan Tak Kompresibel

Cairan dan gas dapat dibedakan dari segi kompresibilitasnya. Kompresibilitas adalah kemampuan suatu zat untuk dimampatkan. Cairan merupakan zat yang tak kompresibel atau tidak dapat dimampatkan karena tidak ada perubahan volume ketika ditekan. Sementara itu, gas merupakan zat yang kompresibel atau dapat dimampatkan karena ada perubahan volume ketika ditekan.

2. Massa Jenis

Massa jenis merupakan ukuran kerapatan suatu benda. Oleh karena itu, jika suatu benda mempunyai massa jenis yang besar, maka benda tersebut dapat dikatakan mempunyai kerapatan yang besar pula, begitu juga sebaliknya. Massa jenis suatu benda dapat didefinisikan sebagai massa per satuan volume benda. Secara matematis, dirumuskan sebagai berikut.

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

Keterangan:

ρ = massa jenis benda (kg/m^3);

V = volume benda (m^3); dan

m = massa benda (kg).

Berikut ini merupakan massa jenis beberapa zat pada suhu 0°C dan tekanan 1 atm.

Massa Jenis Beberapa Zat pada Suhu 0°C dan Tekanan 1 atm

No.	Nama Zat	Massa Jenis		No.	Nama Zat	Massa Jenis	
		kg/m^3	g/cm^3			kg/m^3	g/cm^3
1.	Air (4°C)	1.000	1	10.	Seng	7.140	7,14
2.	Alkohol	790	0,79	11.	Es	920	0,92
3.	Air raksa	13.600	13,60	12.	Gula	1.600	1,60
4.	Alumunium	2.700	2,70	13.	Garam	2.200	2,20
5.	Besi	7.900	7,90	14.	Kaca	2.600	2,60
6.	Emas	19.300	19,30	15.	Tembaga	8.900	8,90
7.	Kuningan	8.400	8,40	16.	Minyak Tanah	800	0,80
8.	Platina	10.500	10,50	17.	Oksigen	1,3	0,0013
9.	Timah	11.300	11,30	18.	Helium	0,179	0,000179

3. Viskositas

Viskositas disebut juga sebagai kekentalan. Viskositas merupakan sifat tahanan suatu fluida terhadap tegangan yang diberikan kepadanya. Di dalam zat cair, viskositas dihasilkan akibat adanya gaya kohesi antara molekul-molekul zat cair. Viskositas zat cair dapat ditentukan secara kuantitatif dengan besaran yang disebut koefisien viskositas (η). Satuan SI untuk koefisien viskositas adalah Ns/m^2 atau pascal sekon (Pa.s).

Apabila suatu benda bergerak dengan kelajuan v dalam suatu fluida kental yang koefisien viskositasnya η , maka benda tersebut akan mengalami gaya gesekan fluida sebesar $F_s = k\eta v$. Besaran k adalah konstanta yang bergantung pada bentuk geometris benda. Pada tahun 1845, **Sir George Stokes** menunjukkan bahwa untuk benda yang bentuk geometrisnya berupa bola, nilai $k = 6\pi r$. Jika nilai k dimasukkan ke dalam rumusan gaya gesekan fluida, maka diperoleh persamaan yang selanjutnya dikenal sebagai hukum Stokes berikut.

$$F_s = 6 \pi \eta r v$$

Keterangan:

F_s = gaya gesekan dalam fluida (N);

η = koefisien viskositas fluida (Ns/m^2);

r = jari-jari bola (m); dan

v = kelajuan bola (m/s).

Molekul zat cair mempunyai susunan yang agak rapat. Jika suhu zat cair tersebut dinaikkan, maka akan terjadi pelemahan gaya tarik-menarik antarmolekulnya sehingga viskositas zat cair menjadi berkurang atau mengencer. Berkebalikan dengan zat cair, viskositas zat gas akan bertambah seiring kenaikan suhunya.

4. Berat Jenis

Berat jenis merupakan berat fluida per satuan volume. Nilai berat jenis ini selalu berubah sesuai lokasi benda karena bergantung pada percepatan gravitasi.

$$s = \frac{w}{V} = \rho \cdot g$$

Keterangan:

s = berat jenis (N/m^3);

w = berat benda (N);

V = volume benda (m^3);

ρ = massa jenis (kg/m^3); dan

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

5. Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan adalah kecenderungan permukaan zat cair untuk menegang, sehingga permukaan tersebut seperti ditutupi oleh suatu lapisan elastis. Tegangan permukaan suatu zat cair didefinisikan sebagai gaya per satuan panjang. Jika pada suatu permukaan sepanjang L bekerja gaya sebesar F yang arahnya tegak lurus L , maka persamaannya dapat dirumuskan sebagai berikut.

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

Keterangan:

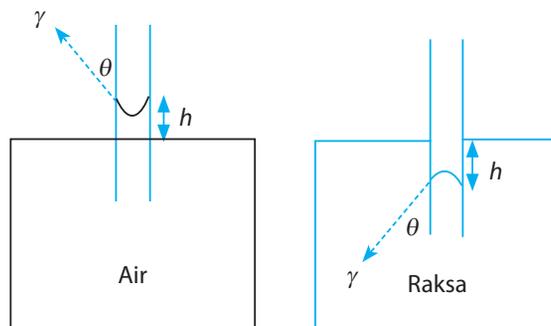
γ = tegangan permukaan (N/m);

F = gaya (N); dan

L = panjang permukaan (m).

6. Kapilaritas

Kapilaritas adalah peristiwa naik atau turunnya zat cair di dalam pipa kapiler (pipa sempit). Kapilaritas dipengaruhi oleh tegangan permukaan serta gaya kohesi dan adhesi antara zat cair dan dinding kapiler. Oleh karena gaya adhesi antara partikel air dan kaca lebih besar daripada gaya kohesi antara partikel-partikel air, maka air akan naik dalam pipa kapiler. Sebaliknya, raksa cenderung turun dalam pipa kapiler karena gaya kohesinya lebih besar daripada gaya adhesinya.



Besar kenaikan atau penurunan permukaan zat cair dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

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

Keterangan:

h = kenaikan atau penurunan zat cair dalam pipa kapiler (m);

γ = tegangan permukaan (N/m);

θ = sudut kontak (derajat);

ρ = massa jenis zat cair (kg/m^3);

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

r = jari-jari pipa kapiler (m).

Contoh Soal 1

Suatu tabung berdiameter 0,2 cm dimasukkan ke dalam air secara vertikal sehingga membentuk sudut kontak sebesar 60° . Jika tegangan permukaan air adalah 0,5 N/m, tentukanlah kenaikan air dalam tabung. ($g = 10 \text{ m/s}^2$; $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$)

Pembahasan:

Diketahui:

$$d = 0,2 \text{ cm} \rightarrow r = 0,1 \text{ cm} = 0,001 \text{ m}$$

$$\theta = 60^\circ$$

$$\gamma = 0,5 \text{ N/m}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

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

Ditanya: $h = \dots?$

Dijawab:

Besar kenaikan permukaan zat cair dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r} = \frac{2(0,5)\cos 60^\circ}{1.000(10)(0,001)} = 0,05 \text{ m}$$

Jadi, kenaikan air dalam tabung tersebut adalah 0,05 m atau 5 cm.

B. Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang disebabkan oleh fluida tak bergerak yang memiliki berat. Tekanan hidrostatik dirumuskan sebagai berikut.

$$P_h = \rho g h$$

Keterangan:

P_h = tekanan hidrostatik (N/m² atau Pa);

ρ = massa jenis fluida (kg/m³);

g = percepatan gravitasi (m/s²); dan

h = kedalaman titik diukur dari permukaan fluida (m).

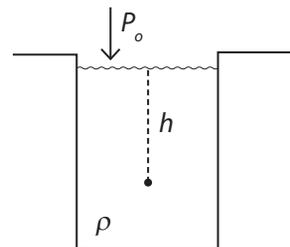
Tekanan mutlak adalah tekanan total hasil penjumlahan tekanan hidrostatik dengan tekanan atmosfer (udara). Secara matematis, tekanan mutlak dirumuskan sebagai berikut.

$$P_T = P_o + \rho g h$$

Keterangan:

P_T = tekanan mutlak (N/m² atau Pa); dan

P_o = tekanan atmosfer = 1 atm = 76 cm Hg
= 10^5 N/m^2 .



Contoh Soal 2

Sebuah tangki berbentuk silinder memiliki tinggi 20 m dan jari-jari 7 m. Jika tangki diisi air hingga penuh dalam keadaan terbuka, maka gaya rata-rata pada dasar tangki adalah ...

Pembahasan:

Diketahui:

$$h = 20 \text{ m}$$

$$r = 7 \text{ m}$$

$$A = \pi r^2 = \frac{22}{7}(7)^2 = 154 \text{ m}^2$$

Ditanya: $F = \dots$?

Dijawab:

Tentukan dahulu tekanan pada dasar tangki tersebut. Oleh karena dalam keadaan terbuka, maka:

$$\begin{aligned} P_T &= P_o + \rho gh \\ &= 10^5 + 1000 \cdot 10 \cdot 20 \\ &= 10^5 + 2 \times 10^5 \\ &= 3 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

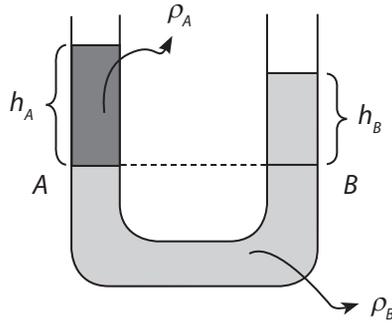
Kemudian, tentukan gayanya dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} P &= \frac{F}{A} \\ F &= PA \\ &= 3 \times 10^5 \cdot 154 \\ &= 462 \times 10^5 \\ &= 4,62 \times 10^7 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi, gaya rata-rata pada dasar tangki tersebut adalah $4,62 \times 10^7 \text{ N}$.

C. Hukum Utama Hidrostatik

Hukum utama hidrostatik menyatakan, "Semua titik yang terletak pada suatu bidang datar di dalam fluida (zat cair) memiliki tekanan yang sama". Secara matematis, dirumuskan sebagai berikut.



$$\begin{aligned}
 P_A &= P_B \\
 \rho_A g h_A &= \rho_B g h_B \\
 \rho_A h_A &= \rho_B h_B
 \end{aligned}$$

Keterangan:

- P_A = tekanan pada penampang A (N/m^2);
- P_B = tekanan pada penampang B (N/m^2);
- ρ_A = massa jenis fluida A (kg/m^3);
- ρ_B = massa jenis fluida B (kg/m^3);
- h_A = tinggi fluida A (m); dan
- h_B = tinggi fluida B (m).

Contoh Soal 3

Di dalam sebuah bejana berhubungan, salah satu kakinya berisi air ($\rho_a = 1 \text{ g/cm}^3$) dan kaki lainnya berisi minyak ($\rho_m = 0,8 \text{ g/cm}^3$). Jika tinggi minyak 25 cm diukur dari bidang batas air dan minyak, tentukan selisih tinggi permukaan keduanya.

Pembahasan:

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \rho_a &= 1 \text{ g/cm}^3 \\
 \rho_m &= 0,8 \text{ g/cm}^3 \\
 h_m &= 25 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Ditanya: $h_m - h_a = \dots ?$

Dijawab:

Berdasarkan hukum utama hidrostatis, diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \rho_a h_a &= \rho_m h_m \\
 \Leftrightarrow 1 \cdot h_a &= 0,8 \cdot 25 \\
 \Leftrightarrow h_a &= 20 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, diperoleh:

$$h_m - h_a = 25 - 20 = 5 \text{ cm}$$

Jadi, selisih tinggi permukaan keduanya adalah 5 cm.

D. Hukum Pascal

Hukum Pascal menyatakan, "Tekanan yang diberikan pada suatu fluida dalam ruang tertutup akan diteruskan sama besar ke segala arah". Secara matematis, dirumuskan sebagai berikut.



$$\begin{aligned} P_1 &= P_2 \\ \frac{F_1}{A_1} &= \frac{F_2}{A_2} \end{aligned}$$

Apabila persamaan tersebut diturunkan, akan diperoleh:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{\pi r_1^2}{\pi r_2^2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{\frac{1}{4}\pi d_1^2}{\frac{1}{4}\pi d_2^2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

Keterangan:

P_1 = tekanan pada penampang pipa 1 (N/m²);

P_2 = tekanan pada penampang pipa 2 (N/m²);

F_1 = gaya tekan pada penampang pipa 1 (N);

F_2 = gaya tekan pada penampang pipa 2 (N);

A_1 = luas penampang pipa 1 (m²);

A_2 = luas penampang pipa 2 (m²);

r_1 = jari-jari penampang pipa 1 (m);

r_2 = jari-jari penampang pipa 2 (m);

d_1 = diameter penampang pipa 1 (m); dan

d_2 = diameter penampang pipa 2 (m).

Contoh Soal 4

Tiga bejana berhubungan ditutup oleh pengisap yang masing-masing luasnya 4 cm^2 , 24 cm^2 , dan 60 cm^2 . Jika pada pengisap terkecil diberi gaya tekan sebesar 12 N , berapakah gaya yang harus diberikan pada pengisap lainnya agar setimbang?

Pembahasan:

Diketahui:

$$A_1 = 4 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 24 \text{ cm}^2$$

$$A_3 = 60 \text{ cm}^2$$

$$F_1 = 12 \text{ N}$$

Ditanya: F_2 dan $F_3 = \dots$?

Dijawab:

Berdasarkan hukum Pascal, diperoleh:

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

$$\Leftrightarrow \frac{12}{4} = \frac{F_2}{24}$$

$$\Leftrightarrow F_2 = \frac{12 \times 24}{4} = 72 \text{ N}$$

$$\frac{F_2}{A_2} = \frac{F_3}{A_3}$$

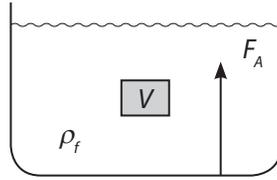
$$\Leftrightarrow \frac{72}{24} = \frac{F_3}{60}$$

$$\Leftrightarrow F_3 = \frac{72 \times 60}{24} = 180 \text{ N}$$

Jadi, besarnya gaya harus diberikan pada pengisap 2 dan pengisap 3 berturut-turut adalah 72 N dan 180 N .

E. Hukum Archimedes

Hukum Archimedes menyatakan, "Benda yang dicelupkan seluruhnya atau sebagian ke dalam fluida akan mengalami gaya tekan ke atas yang besarnya sama dengan fluida yang dipindahkan". Gaya tekan ke atas ini selanjutnya disebut dengan gaya Archimedes atau gaya apung. Secara matematis, dirumuskan sebagai berikut.



$$F_A = \rho_f g V_{bf}$$

Keterangan:

F_A = gaya apung atau gaya Archimedes (N);

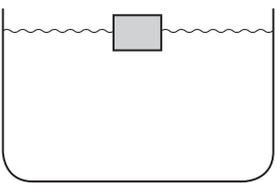
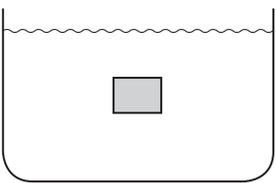
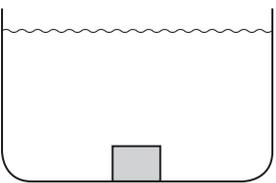
ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3);

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

V_{bf} = volume benda yang tercelup (m^3).

Berdasarkan konsep gaya apung ini, ada tiga kemungkinan posisi benda di dalam fluida, yaitu terapung, melayang, dan tenggelam. Untuk lebih jelasnya, perhatikan tabel berikut.

Konsekuensi Gaya archimedes pada Tiga Kemungkinan Posisi Benda di Dalam Fluida

Konsekuensi Gaya Archimedes		
Terapung	Melayang	Tenggelam
		
$F_a > w$ $\rho_b < \rho_f$ $\rho_b < \frac{V_{bf}}{V_b} \times \rho_f$	$F_a = w$ $\rho_b = \rho_f$	$F_a < w$ $\rho_b > \rho_f$

Setelah memahami konsep gaya Archimedes, bagaimana dengan berat suatu benda yang ditimbang di dalam fluida? Berat benda di dalam fluida ternyata lebih kecil dibandingkan dengan berat benda di udara. Hal ini disebabkan oleh adanya gaya apung. Berat benda di dalam fluida atau yang biasa disebut berat semu secara matematis dirumuskan sebagai berikut.

$$W_{bf} = W_u - F_A$$

$$W_{bf} = (\rho_b - \rho_f)V_{bf}g$$

Keterangan:

W_{bf} = berat benda dalam fluida (N);

W_u = berat benda di udara (N);

F_A = gaya apung/Archimedes (N);

ρ_b = massa jenis benda (kg/m^3);

ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3);

V_{bf} = volume benda yang tercelup (m^3); dan

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

Contoh Soal 5

Sebuah benda dicelupkan ke dalam minyak dengan massa jenis $\rho_m = 0,8 \text{ g/cm}^3$. Ternyata, 25% dari volume benda terapung di atas permukaan minyak. Berapakah massa jenis benda tersebut?

Pembahasan:

Diketahui:

$$\rho_m = 0,8 \text{ g/cm}^3$$

$$V_b = 100\%$$

$$V_{bf} = 100\% - 25\% = 75\%$$

Ditanya: $\rho_b = \dots$?

Dijawab:

Berdasarkan rumus perbandingan volume benda yang tercelup dalam fluida dan volume benda di udara, diperoleh:

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{V_{bf}}{V_b} \times \rho_m \\ &= \frac{75\%}{100\%} \times 0,8 \\ &= 0,6 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

Jadi, massa jenis benda tersebut adalah $0,6 \text{ g/cm}^3$.

Contoh Soal 6

Sebuah benda memiliki berat 6 N di udara dan 4 N di air. Jika massa jenis air adalah 1 g/cm^3 , berapakah massa jenis benda tersebut?

Pembahasan:

Diketahui:

$$W_u = 6 \text{ N}$$

$$W_{bf} = 4 \text{ N}$$

$$\rho_f = 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Ditanya: $\rho_b = \dots ?$

Dijawab:

Cara Biasa

Berdasarkan rumus berat benda di dalam fluida, diperoleh:

$$W_{bf} = W_u - F_A$$

$$4 = 6 - F_A$$

$$F_A = 2 \text{ N}$$

Dengan rumus gaya apung, diperoleh:

$$F_A = \rho_f g V_{bf}$$

$$2 = 1000 \cdot 10 \cdot V_{bf}$$

$$V_{bf} = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Dengan rumus massa jenis, diperoleh:

$$\rho_b = \frac{m}{V_{bf}} = \frac{0,6}{2 \times 10^{-4}} = 3.000 \text{ kg/m}^3$$

• Super "Solusi Quipper" •

$$\rho_b = \frac{W_u}{W_u - W_{bf}} \times \rho_f$$

$$\rho_b = \frac{6}{6 - 4} \times 1.000$$

$$= \frac{6}{2} \times 1.000$$

$$= 3.000 \text{ kg/m}^3$$

Jadi, massa jenis benda tersebut adalah 3.000 kg/m^3 .

Contoh Soal 7

Sebuah benda terapung di atas permukaan air yang berlapiskan minyak. Ternyata, 50% volume benda tercelup di dalam air dan 40% tercelup di dalam minyak. Jika massa jenis minyak adalah $0,8 \text{ g/cm}^3$, maka massa jenis benda tersebut adalah

Pembahasan:

Diketahui:

$$\rho_a = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_m = 0,8 \text{ g/cm}^3$$

Ditanya: $\rho_b = \dots ?$

Dijawab:

Massa jenis benda tersebut dapat ditentukan dengan rumusan berikut.

$$\begin{aligned}\rho_b &= \%V \cdot \rho_a + \%V \cdot \rho_m \\ &= 50\% \cdot 1 + 40\% \cdot 0,8 \\ &= 0,82 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

Jadi, massa jenis benda tersebut adalah $0,82 \text{ g/cm}^3$.