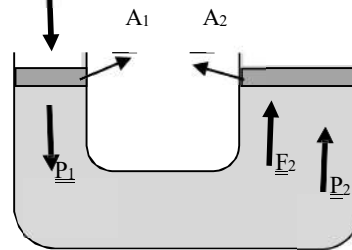


HUKUM-HUKUM DASAR FLUIDA STATIS

1. Hukum Pascal

Hukum Pascal berbunyi: *Tekanan yang diberikan kepada zat cair di dalam ruang tertutup diteruskan sama besar ke segala arah*. Blaise Pascal (1623 - 1662) seorang ilmuwan dari Perancis, yang telah mengemukakan Hukum Pascal di atas. Nama “Pascal” juga digunakan sebagai satuan dari tekanan untuk menghargai jasa Blaise Pascal.

Pengisap 1 mempunyai luas penampang A_1 . Jika pengisap 1 ditekan dengan gaya F_1 , maka zat cair akan menekan pengisap 1 ke atas dengan gaya $P \cdot A_1$ sehingga terjadi keseimbangan pada pengisap 1 dan berlaku:



$$P \cdot A_2 = F_2 \quad \text{---} \quad P = \frac{F_2}{A_2}$$

Berdasarkan hukum Pascal, tekanan pada zat cair tersebut diteruskan sama besar ke segala arah, maka pada pengisap 2 bekerja gaya ke atas $P \cdot A_2$ yang seimbang dengan gaya F_2 yang bekerja pada pengisap 2 dengan arah ke bawah dan berlaku:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \text{---} \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} \quad \text{---} \quad F_2 = \frac{A_2}{A_1} \times F_1$$

Prinsip kerja hukum Pascal ini dimanfaatkan dalam peralatan teknik di antaranya adalah seperti di bawah ini:

1. Dongkrak Hidrolik dan Mesin Hidrolik Pengangkat Mobil

Aplikasi Hukum Pascal yang sangat terkenal adalah yang terdapat pada alat pengangkatan Hidrolik atau yang banyak dikenal dengan istilah Dongkrak Hidrolik. Setiap benda yang menggunakan istilah Hidrolik biasanya merupakan aplikasi dari hukum pascal. Contohnya Dongkrak hidrolik. Dongkrak hidrolik sering digunakan untuk mengangkat berat seperti saat harus mengganti ban mobil. Pada dongkrak hidrolik, sedikit gaya masuk yang diberikan digunakan untuk menghasilkan gaya keluar yang lebih besar dengan cara membuat luasan piston bagian luar lebih besar daripada luasan piston bagian dalam. Dengan cara ini, keuntungan mekanis yang didapatkan akan berlipat ganda tergantung rasio perbedaan luasan piston. Sebagai contoh, jika luasan piston luar 20 kali lebih besar daripada piston bagian dalam, maka gaya yang keluar dikalikan dengan faktor 20; sehingga jika gaya yang diberikan setara dengan 100 kg, maka dapat mengangkat mobil hingga seberat 2000 kg atau 2 ton. Perhatikan gambar di bawah ini.

2. Rem hidrolik

Prinsip kerja rem hidrolik sama dengan prinsip kerja mesin pengangkat mobil atau dongkrak hidrolik. Perbandingan luasan silinder utama dengan silinder rem menentukan keuntungan mekanik. Semakin besar keuntungan mekanik, semakin ringan saat menginjak pedal rem. Dapat dikatakan bahwa semua sistem hidrolik menggunakan hukum Pascal. Sistem hidrolik dipakai di seluruh kendaraan berat, mesin pengangkut, pabrik-pabrik, dan semua peralatan yang membutuhkan gaya yang besar menggunakan sistem hidrolik karena keuntungan mekanisnya yang cukup tinggi dan sistem kerjanya yang sederhana.

CONTOH SOAL

1. Seperti gambar di samping, luas penampang tabung G sebesar 20 cm^2 dan luas penampang S sebesar 500 cm^2 . Jika piston D diberi gaya 5 N pada tabung G, tentukan besar gaya yang bekerja pada piston P pada tabung S!

Jawab:

Dik : $A_G = 20 \text{ cm}^2 = 800 \text{ kg/m}^3$

$A_S = 500 \text{ cm}^2$

$F_G = 5 \text{ N}$

h_g

Dit : a. $F_S = \dots ?$

Peny :

$$\frac{F_G}{F_S} = \frac{A_G}{A_S} \rightarrow F_S = \frac{A_S}{A_G} \times F_G = \left(\frac{500 \text{ cm}^2}{20 \text{ cm}^2} \right) \cdot 5 \text{ N} = 125 \text{ N}$$

2. Hukum Archimedes

Akibat lain dari hukum-hukum statika fluida adalah Hukum Archimedes. Hukum Archimedes berbunyi: *Setiap benda yang terendam seluruhnya atau sebagian di dalam fluida mendapat gaya apung berarah ke atas, yang besarnya adalah sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda ini* Archimedes (287–212 SM) seorang ilmuwan dari Yunani, yang telah mengemukakan Hukum Archimedes di atas. Archimedes menemukan satu metode untuk menentukan volume suatu objek yang memiliki bentuk tidak rata. Jika berat benda di udara w , berat benda di dalam zat cair w' , maka gaya ke atas (F_a) adalah sebagai berikut

$$F_a = w - w'$$

Juga bisa dirumuskan

$$F_a = m_f \cdot g \quad \leftrightarrow \quad F_a = \rho_f \cdot g \cdot V_f$$

Keterangan: F_a = gaya apung (N)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

m_f = massa fluida (kg)

V_f = volume benda yang tercelup dalam zat cair (m^3)

ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3)

Pada suatu benda yang tercelup di dalam zat cair, selalu bekerja gaya ke atas F_a , juga bekerja gaya berat w yang berarah ke bawah. Berdasarkan besarnya, kedua gaya ini posisi benda dalam zat cair dapat digolongkan menjadi tiga yaitu *mengapung*, *melayang*, dan *tenggelam*.

1) Mengapung

Benda mengapung jika gaya apung lebih besar daripada berat benda atau massa jenis fluida lebih besar dari massa jenis benda.

Syarat benda mengapung:

Keterangan:

ρ_F = massa jenis fluida (kg/m^3)

ρ_b = massa jenis benda (kg/m^3)

$$\rho_F > \rho_b$$

2) Melayang

Benda akan melayang jika gaya apung sama dengan berat benda atau massa jenis fluida sama dengan massa jenis benda.

$$\rho_F = \rho_b$$

Syarat benda melayang

Keterangan:

ρ_F = massa jenis fluida (kg/m^3)

ρ_b = massa jenis benda (kg/m^3)

3) Tenggelam

Benda akan tenggelam jika gaya apung lebih kecil daripada berat benda atau massa jenis fluida lebih kecil dari massa jenis benda.

Syarat benda tenggelam:

$$\rho_F < \rho_b$$

Keterangan: ρ_F = massa jenis fluida (kg/m^3)

ρ_b = massa jenis benda (kg/m^3)

Prinsip kerja hukum Archimedes ini dimanfaatkan dalam peralatan teknik diantaranya adalah seperti di bawah ini:

1) Hidrometer

Dengan prinsip kerja yang sederhana, hidrometer dapat digunakan untuk mengukur massa jenis fluida. Dengan cara memasukkan hidrometer ke fluida yang akan diukur massa jenisnya, maka massa jenis fluida dapat diketahui secara langsung. Cara kerja hidrometer sesuai hukum Archimedes. Bila hidrometer diletakkan di dalam zat cair dengan kerapatan atau massa jenis yang besar, hidrometer akan mengapung dan permukaan zat cair akan bersinggungan dengan angka yang dekat bola pembobotan (angka yang besar). Namun bila diletakkan ke dalam zat cair yang memiliki massa jenis rendah, maka hidrometer akan tenggelam dan permukaan zat cairnya bersinggungan dengan angka yang jauh dari bola pembobotan (angka yang kecil).

Jadi angka yang diperlihatkan pada hidrometer saat pengukuran menunjukkan massa jenis zat tersebut. Semakin besar angka yang diperlihatkan, semakin besar pula massa jenis zat cair yang diukur. Bila semakin kecil angka hasil pengukuran, maka massa jenis zat cair juga semakin kecil.

Cara menggunakan hidrometer yaitu dengan meletakkannya ke dalam cairan sehingga berada pada posisi tegak kemudian melihat angka yang bersinggungan dengan permukaan zat cair. Saat melihat, mata sebaiknya sejajar dengan permukaan zat cair guna menghindari kesalahan saat pengamatan.

2) Kapal laut

Kamu pernah naik kapal laut? Kamu lihat apa laut

dapat mengapung walaupun memiliki ukuran yang besar dan terbuat dari logam. Perlu kamu ketahui bahwa logam memiliki massa jenis yang lebih besar dari zat cair sehingga bila diletakkan di dalam air, logam akan tenggelam. Kapal laut dapat mengapung disebabkan oleh bentuk dasar kapal yang melengkung (berupa cekungan) dan adanya lambung (rongga) kapal. Bentuk dasar kapal yang melengkung dan adanya rongga pada kapal, dapat memperluas volume bagian dasar kapal sehingga memperbesar gaya keatas air terhadap bagian dasarkapal.



Semakin besar ukuran kapal, maka volume dasar kapal juga akan diperbesar agar dasar kapal memperoleh gaya ke atas air atau gaya apung yang besar.

Adapun rongga kapal yang berisi udara dapat memperkecil massa jenis kapal. Dengan adanya udara di dalam lambung atau rongga kapal, dapat memperbesar volume kapal sehingga massa jenis keseluruhan kapal menjadi lebih kecil. Perlu diingat, jika massa jenis suatu benda lebih kecil dari massa jenis zat cair, maka benda tersebut akan mengapung.

3) Kapal selam

Kapal selam merupakan teknologi yang biasanya digunakan untuk kepentingan militer dan pengetahuan kelautan. Kapal selam mampu bergerak di bawah permukaan air dan ketika berhenti dapat berada di permukaan air. Oleh karena itu, kapalselam dapat terapung, melayang dan tenggelam. Kemampuan kapal selam untuk mengapung, melayang dan tenggelam karena dilengkapi tangki pengapung. Bagaimana kapal selam mengapung, melayang dan tenggelam dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Berdasarkan gambar dapat dilihat bahwa ketika kapal selam hendak berada dipermukaan (mengapung), tangki akan diisi udara sehingga air di dalam tangki keluar.

Tangki yang berisi udara menyebabkan volume kapalselam bertambah sehingga akan memperoleh gaya ke atas air yang lebih besar dan mampu mendorong kapal selam naik ke permukaan.

Saat kapal selam hendak menyelam, maka udara didalam tangki dikeluarkan sebagian agar berat kapal selam sama dengan gayake atas air laut. Kedalaman kapal selam diatur dengan udara yang dimasukkan kedalam tangki. Makin sedikit udara dalam tangki maka makin dalam posisi kapal selam tersebut.

Kapal selam dapat menyelam sampai di dasar laut. Hal itu dilakukan dengan mengosongkan udara dalam tangki sehingga tangki penuh dengan air. Hal tersebut

menyebabkan berat kapal selam lebih besar dari gaya ke atas air laut. Perlu kamu ketahui bahwa semakin dalam, tekanan air akan semakin besar, sesuai dengan konsep tekanan hidrostatik. Oleh karena itu, dinding badan kapal selam terbuat dari logam bajaj yang sangat kuat sehingga mampu menahan tekanan dari air laut.

1. Balon udara

Pernahkan kalian mendengar Cappadokia? Ketika mendengar Cappadokia pasti akan terbang



Gambar 3.15 Prinsip kerja kapal selam
(Sumber: ipamts.com)

dipikirkan kita balon-balon udara yang terbang di atas kota Cappadokia. Udara merupakan fluida, sedangkan balon sebagai benda yang melayang di udara. Sesuai dengan hukum Archimedes, balon yang berisi gas helium (He) memiliki massa jenis lebih dari massa jenis udara pada umumnya, akibatnya balon akan melayang di udara.

Balon udara dapat terbang dan mengapung di udara karena diisi dengan udara panas. Udara panas dihasilkan dari pemanasan udara di dalam balon yang menyebabkan udara memuai sehingga meningkatkan volume udara di dalam balon. Peningkatan volume udara menyebabkan penurunan kerapatan atau massa jenis udara yang membuat massa jenis udara di dalam balon lebih kecil dari massa jenis udara di sekitar balon sehingga balon terangkat ke atas. Ingat massa jenis benda berbanding terbalik dengan volume benda.

3. Tegangan Permukaan Zat Cair

Tegangan permukaan zat cair adalah kecenderungan permukaan zat cair untuk menegang sehingga permukaannya seperti suatu lapisan elastis. Selaput ini cenderung menyusut sekuat mungkin. Oleh karena itu, sejumlah tertentu cairan cenderung mengambil bentuk dengan permukaan sesempit mungkin. Inilah

yang disebut dengan *tegangan permukaan*.

Tegangan permukaan(γ) dalam larutan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya tegangan permukaan (F) dan panjang permukaan (d) dimana gaya tersebut bekerja. Dapat ditulis:

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

Keterangan: γ = tegangan permukaan (N/m atau Nm^{-1})

F = gaya tegangan permukaan (N)

l = panjang permukaan(m)

Akibat tegangan permukaan ini setetes cairan cenderung berbentuk bola, karena dalam bentuk bola itu cairan mendapatkan daerah permukaan yang tersempit. Inilah yang menyebabkan tetes-tetes embun yang jatuh pada sarang laba-laba berbentuk bola.

Tarikan pada permukaan cairan membentuk semacam kulit penutup yang tipis. Nyamuk dapat berjalan di atas air karena berat nyamuk dapat diatasi oleh kulit ini. Peristiwa yang sama terjadi pada jarum jait yang perlahan-lahan diletakkan secara horizontal di atas air.

Contoh lain dalam kehidupan sehari-hari adalah penggunaan detergen dalam mencuci pakaian. Detergen juga didesain untuk meningkatkan kemampuan air membasahi kotoran yang melekat pada pakaian. Caranya adalah detergen menurunkan tegangan permukaan air. Karena itu, banyak kotoran yang tidak larut dalam air biasa akan larut dalam air yang diberi detergen. Hasil cucian menjadi lebih bersih

CONTOH SOAL

1. Sebuah silet panjangnya 4,3 cm diletakkan di permukaan air hingga terapung. Apabila massa silet 0,25 gram dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa besar tegangan permukaan air?

Jawab:

Dik : $l = 4,3 \text{ cm} = 4,3 \times 10^{-2} \text{ m}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$
 $m = 0,25 \text{ g} = 2,5 \times 10^{-4} \text{ kg}$
hB

Dit : $\gamma = \dots ?$

Peny :

$$\gamma = \frac{F}{l} = \frac{m g}{l} = \frac{(2,5 \times 10^{-4})(10)}{4,3 \times 10^{-2}} = 0,058 \text{ N/m}$$

4. Sudut kontak dan Kapilaritas

a. Sudut kontak

Jika pada lengkungan air ke atas ditarik garis lurus, maka garis ini akan membentuk sudut θ terhadap dinding vertikal. Sudut θ ini dinamakan sudut kontak. Sudut kontak air adalah lancip ($\theta = 90^\circ$), sudut kontak raksa adalah tumpul ($90^\circ < \theta < 180^\circ$).

Beberapa istilah yang berkaitan dengan Sudut kontak adalah sebagai berikut.

- 1) *Kohesi* adalah gaya tarik-menarik antar partikel-partikel dari zat yang sama.
- 2) *Adhesi* adalah gaya tarik menarik antara partikel-partikel dari zat yang berbeda.
- 3) *Meniskus* adalah kelengkungan zat cair didalam tabung.
- 4) *Meniskus cekung* adalah permukaan air didalam tabung akibat adanya meniskus.
- 5) *Meniskus cembung* adalah permukaan raksa didalam tabung akibat adanya meniskus.

b. Kapilaritas

Kapilaritas merupakan peristiwa naik turunnya zat cair dalam pipa kapiler (pipa sempit). Kapilaritas dipengaruhi oleh adanya gaya kohesi dan adhesi antara zat cair dengan dinding kapiler. Kenaikan atau penurunan zat cair pada pipa kapiler disebabkan oleh adanya tegangan permukaan yang bekerja pada keliling persentuhan zat cair dengan pipa. Kenaikan atau penurunan zat cair dalam pipa dirumuskan sebagai berikut.

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

Keterangan: h = kenaikan/penurunan permukaan fluida dalam pipa

(m) θ = sudut kontak (derajat)

r = jari-jari pipa kapiler (m) ρ = massa

jenis fluida (kg/m^3)

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

5. Viskositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida. Dalam fluida tidak kental (fluida ideal) tidak ada viskositas yang menghambat lapisan-lapisan fluida ketika lapisan-lapisan tersebut bergeser sedangkan dalam fluida kental viskositas/kekentalan itu ada. Akibatnya dalam suatu pipa yang luas penampangnya serbasama, setiap lapisan fluida tidak kental bergerak dengan kecepatan yang sama, demikian juga lapisan fluida yang dekat dengan dinding pipa, sedangkan dalam fluida kental lapisan-lapisan fluida bergerak dengan kecepatan yang tidak seluruhnya sama. Bahkan lapisan fluida yang terdekat dengan dinding tidak bergerak sama sekali.

Dalam fluida yang kental kita perlu gaya untuk menggeser satu lapisan fluida terhadap yang lain. Besarnya gaya F yang diperlukan untuk menggerakkan suatu lapisan fluida dengan kelajuan tetap v untuk luas keping yang bersentuhan dengan fluida A , dan berjarak L dari keping yang diam dirumuskan dengan:

$$F = \frac{\eta A \cdot v}{L}$$

Keterangan: F = gaya yang bekerja (N)
 A = luas keping yang bersentuhan dengan fluida (m^2)
 v = kelajuan (m/s)
 L = jarak antar dua keping (m)
 η = koefisien viskositas ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ atau Pa sekon)

Nilai koefisien viskositas (η) berubah sesuai dengan perubahan temperatur. Jika temperatur naik, viskositas zat cair turun sedangkan untuk gas naik dan sebaliknya jika temperatur turun, viskositas zat cair naik sedangkan untuk gas turun.

➤ **Hukum Stokes**

Bagaimana pengaruh fluida kental terhadap benda yang bergerak di dalamnya? Apabila suatu benda bergerak dengan kelajuan tertentu dalam suatu fluida kental, maka benda tersebut akan dihambat geraknya oleh gaya gesekan fluida pada benda tersebut.

Seorang bernama Sir George Stokes pada tahun 1845 menunjukkan bahwa gaya hambatan F_s yang dialami oleh benda berbentuk bola yang bergerak relatif terhadap fluida diberikan oleh hubungan:

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

Keterangan: F_s = gaya hambatan (N)

η = koefisien viskositas ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ atau Pa sekon)

r = jari-jari bola (m)

v = kelajuan relatif benda terhadap fluida (m/s)

π = 22/7 atau 3,14

Persamaan ini dikenal dengan "Hukum Stokes".

➤ **Kecepatan Terminal**

Suatu benda yang dijatuhkan bebas dalam suatu fluida kental, kecepatannya makin membesar sampai mencapai suatu kecepatan terbesar yang tetap. Kecepatan terbesar yang tetap ini dinamakan *kecepatan terminal*.

$$v_T = \frac{v_b g (\rho_b - \rho_f)}{6\pi\eta r}$$

Untuk benda yang berbentuk bola dengan jari-jari r , maka volume benda

Diperoleh persamaan:

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

Keterangan: v_T = kecepatan terminal (m/s)

r = jari-jari bola (m)

η = koefisien viskositas ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ atau Pa sekon)

ρ_b = massa jenis benda (kg/m^3)

ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3)

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

CONTOH SOAL

1. Hitunglah Besar kenaikan air di dalam pipa kapiler yang terbuat dari kaca yang berdiameter 0,6 mm apabila tegangan permukaan $72,8 \times 10^{-3} \text{ N/m}$!

Jawab:

Dik : $\gamma = 72,8 \times 10^{-3} \text{ N/m}$
 $d = 0,6 \text{ mm} = 6 \times 10^{-4} \text{ m}$
 $r = 3 \times 10^{-4} \text{ m}$
 $\theta = 0^\circ$ (sudut kontak air-kaca = 0°)
 $\rho_{\text{air}} = 1.000 \text{ kg/m}^3$
 $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Dit : $h = \dots ?$

Peny :
$$h = \frac{2 \gamma \cos}{\rho g r} = \frac{2 (72,8 \times 10^{-3}) \cos 0^\circ}{1.000 \cdot 9,8 \cdot 3 \times 10^{-4}} = \frac{145,6 \times 10^{-3}}{2,94} = 49,5 \times 10^{-3} \text{ m}$$