

## BAB- 7 FLUIDA

Fluida meliputi cairan dan gas yang menempati ruang yang mengalir di bawah pengaruh gravitasi, sehingga fluida cenderung tidak mempertahankan bentuknya. perbedaan fluida dan zat padat tidak tajam

Gas bersifat memiliki volume dan bentuk yang tidak tetap. Gas akan berkembang mengisi beberapa wadah tertutup dimana gas itu berada, dan jika wadah itu terbuka, gas akan bocor. Pada gas cair, molekul-molekulnya terpisah sangat jauh. molekul-molekulnya menggunakan gaya satu sama lain saat bertubrukan, akibatnya setiap molekul bergerak bebas pada garis lurus sampai menabrak molekul lainnya atau dinding wadah. ini adalah gerak molekul tidak terbatas yang menyebabkan perluasan gas yang tidak dapat dipisahkan. selanjutnya, gas yang sangat cair, cenderung memiliki sifat yang sama, karena frekwensi benturan molekulnya sangat kecil sehingga perilaku perbedaan gas bukan disebabkan oleh perbedaan gaya dari kedua molekul tersebut.

Gas memiliki sifat khusus yang dihasilkan dari pemuaianya, seperti halnya cairan yang memiliki sifat khusus yang diakibatkan cairan memiliki permukaan. meskipun demikian, gas dan cairan memiliki beberapa sifat umum yang disebabkan dari sifat ketidakkakuannya. kata fluida digunakan pada gas dan cairan saat membicarakan sifat yang umum pada keduanya. sifat umum fluida ini yang dibahas pada bab ini, sedangkan untuk sifat khususnya, dibahas pada bab 8 & 9.

### 7.2. tekanan

Gaya yang dimana fluida menggunakan sekitarnya ditandai oleh 1 ukuran, yaitu tekanan fluida. Tekanan fluida dapat dihasilkan dari gaya luar atau gaya berat fluida itu sendiri. Jadi untuk membahas 2 sebab tekanan fluida ini secara terpisah, efek gravitasi diabaikan pada bagian ini.

Karena gaya  $F$  bekerja pada daerah permukaan  $A$  maka tekanan  $P$  digambarkan sebesar  $F_y$  dari komponen  $F$  yang tegak lurus dibagi  $A$  :

$$P = F_y / A$$

Contoh :, 5kg balok yang diam diatas meja (gambar 7.2) menggunakan gaya tegak lurus pada meja:

$$F_y = 5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2$$

Jika luas permukaan pada meja  $1.4 \text{ m}^2$  tekannya adalah :

$$P = F_y / A = 49 \text{ N} / 1.4 \text{ m}^2 = 35 \text{ N/m}^2$$

Contoh lainnya , pemain ski dengan massa 80kg menuruni kemiringan  $20^\circ$  . pemain ski mengerjakan gaya vertical sebesar  $80 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 784 \text{ N}$  pada salju. besarnya komponen gaya yang tegak lurus pada kemiringan adalah :  $F_y = 784 \text{ N} \times \cos 20^\circ = 740 \text{ N}$  .

Konsep tekanan terbatas pada kegunaannya dalam mempelajari zat padat karena dari definisinya hanya melibatkan bagian dari gaya yang hadir. selanjutnya nilai tekanan tergantung pada daerah yang terkait yang mungkin rancu.

**Sifat fluida 1:** *fluida yang diam tidak mengerjakan gaya yang parallel pada permukaannya.* Fakta menarik ini dikarenakan ketidakkakuan fluida. dalam fluida, dikerjakan gaya parallel pada permukaan, permukaannya tentu saja akan mengerjakan gaya parallel pada fluida. gambar 7.4 menunjukkan objek dengan gaya  $F_1$  &  $F_2$  bekerja parallel pada 2 sisi dan gaya  $F_3 = -(F_1 + F_2)$ . Gaya total dan torsi total pada benda adalah nol, sehingga benda seimbang, dengan syarat tidak melekok atau pecah. benda padat yang dapat melapisi lekukan, akan seimbang di bawah kondisi ini. fluida dengan kata lain tidak memiliki kekakuan sehingga dapat mengalir, fluida tidak dapat tetap diam jika ada gaya parallel yang bekerja, jadi fluida yang diam tidak dapat mengerjakan gaya parallel pada permukaan.

dengan kata lain dapat dikatakan bahwa *fluida tidak memiliki koefisien gesek statis.* Bayangkan perahu kayu mengapung diatas air, perahu akan tetap diam tak masalah seberapa kecil  $F$  karena air tidak dapat mengerjakan gaya parallel pada  $F$  yang seimbang. sekali perahu mulai bergerak, situasi berubah sejak fluida sedang bergerak relative pada perahu. Pergerakan fluida mengerjakan gaya parallel pada permukaan. Besarnya akan meningkat sebanding dengan kecepatan. Akibatnya perahu memiliki percepatan karena adanya  $F$  hingga kecepatannya mencapai nilai yang besarnya sama dengan gaya gesek pada air sebesar  $F$ .

**Sifat fluida 2:** *dengan tiadanya gravitasi, seperti mengabaikan berat fluida itu sendiri, tekanan pada fluida adalah sama di setiap titik.*

Sifat ini dibuktikan dengan menunjukkan bahwa tekanan adalah sama pada titik P dan titik Q. selanjutnya dari sifat fluida 1, gaya yang bekerja adalah tegak lurus dengan permukaannya. jika  $P_p$  adalah tekanan pada titik p, dan  $P_q$  adalah tekanan pada titik q, maka ada gaya bekerja sebesar

$$F_p = p_p \cdot A \quad \text{yang tegak lurus terhadap p}$$

Dan  $F_q = p_q \cdot A$  yang tegak lurus terhadap q

Dimana  $A$  adalah areadi dasar bejana. sejak gaya parallel bekerja pada sumbu bejana dimana semua gaya bekerja tegak lurus terhadap sumbu bejana, semua gaya  $F_p$  dan  $F_q$  harus memiliki nilai yang sama jika total gaya pada sumbu bejana harus nol, dengan begitu

$$F_p = F_q$$

$$P_p \cdot A = P_q \cdot A \quad P_p = P_q$$

Sejak p dan q pada titik yang sama dalam fluida, ini membuktikan bahwa tekanan dalam fluida sama di semua titik.

Untuk melihat bagaimana sifat fluida ini diterapkan, anggap fluida mengisi penuh silinder yang bersekat, jika gaya  $F$  mengarah ke bawah diterapkan pada piston di atas penutup silinder, maka fluida akan mengejakan gaya yang berlawanan  $-F$  pada piston saat piston diam, oleh karena itu, saat seimbang, tekanan dikerjakan oleh fluida pada piston sebesar  $p = F/A$ , dimana dari sifat fluida 2, tekanan sama di setiap titik. (ingat pada bagian ini kita mengabaikan gravitasi.

Seandainya sekarang silinder terhubung oleh pipa pada silinder yang lebih kecil, dengan penutup bersekat area  $A$ , seperti gambar 7.7. berapa besar  $F'$  yang harus dikerjakan pada piston yang lebih kecil agar keadaan tetap seimbang? Sejak tekanan sama di setiap titik pada fluida, tekanan yang dikerjakan oleh fluida pada silinder kecil harus sebesar  $p=F/A$ . dengan kata lain, gaya yang dikerjakan oleh fluida pada piston yang lebih kecil harus sebesar  $F'$  untuk menyeimbangkan gaya yang bekerja, jadi  $p=F'/A'$ . hasil dari penyamaan tekanan ini, kita dapatkan :

$$p = F/A = F'/A'$$

$$F' = pA' = A'/A \times F$$

Contohnya, jika  $A = 0.1 \text{ m}^2$  dan  $F = 900 \text{ N}$ , tekanan pada fluida sebesar  $p = 900 \text{ N}/0.1 \text{ m}^2 = 9000 \text{ N/m}^2$ , besarnya gaya  $F'$  yang dikerjakan pada piston yang lebih kecil adalah :

$$F' = pA' = 9000 \text{ N/m}^2 \times 0.01 \text{ m}^2 = 90 \text{ N}$$

Dengan begitu gaya yang 90 N pada piston kecil dapat menopang gaya sebesar 9000 N pada piston besar.

Pompa hidrolik biasanya digunakan pada garasi untuk mengangkat mobil, menggunakan prinsip ini untuk mengangkat berat  $F$  yang besar dengan gaya  $F'$  yang kecil. prinsip ini sama dengan prinsip pesawat sederhana (bab 6.2). piston kecil bergerak melalui jarak yang panjang  $d'$  dalam mengangkat piston besar dengan jarak yang pendek  $d$ .

Banyak pemakaian prinsip ini pada dunia medis dan sains.

### Efek gravitasi dalam fluida

Hukum Pascal hanya benar saat gaya diabaikan, dimana tekanan dihasilkan dari gaya luar. Contohnya pada gambar 7.6 dan 7.7. hal yang penting dari gaya gravitasi pada fluida tergantung pada kerapatan fluida.

### Kerapatan

Kerapatan partikel adalah rasio  $m$  dari partikel tersebut terhadap volumenya  $V$

$$\rho = m/V$$

Kerapatan adalah karakteristik dari partikel, terlepas dari volume atau massanya. Contoh, massa 3 l ( $3000 \text{ cm}^3$ ) etanol sebesar 2367 g. oleh karena itu kerapatannya adalah

$$\rho = m/V = 2367/3000 = 0.79 \text{ g/cm}^3$$

Kerapatan dari beberapa zat padat, cair, dan gas pada umumnya tercantum pada tabel 7.2.

Kerapatan biasanya ditentukan dalam satuan gram per sentimeter kubik, pada CGS unit. Sangat mudah untuk mengubah ke unit lainnya,  $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$  dan  $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$ , jadi kita dapatkan :

$$1 \text{ kg/m}^3 = 1000 \text{ g}/(100 \text{ cm})^3$$

$$= 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

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

### Sifat fluida 3

Untuk mempelajari efek gravitasi pada tekanan fluida, kita bahas fluida dalam silinder pada gambar 7.8. gaya  $F$  bekerja tegak lurus pada piston. Jadi tekanan pada piston adalah :

$$P_0 = F/A$$

Tanda  $O$  mengindikasikan tekanan pada bagian atas fluida. Dari hukum Pascal, tekanan  $P_h$  pada dasar fluida akan sama dengan  $P_0$  jika gaya gravitasi diabaikan. Namun, karena ada gaya gravitasi, gaya total ke bawah pada fluida sebesar  $F + F_g$  dimana  $F$  adalah gaya gravitasi pada fluida. Dari gaya tersebut, harus ada kontak gaya ke atas sebesar  $F = -(F + F_g)$  dari dasar silinder. Reaksi  $R_c = -F_c = F + F_g$  dengan mengerjakan gaya ke bawah pada dasar silinder. Jadi tekanan  $p_h$  pada dasar sebesar :

$$\begin{aligned} P_h &= (F + F_g)/A \\ &= p_0 + (F_g/A) \end{aligned}$$

Tekanan di bagian bawah fluida lebih besar, dikarenakan berat dari fluida itu sendiri. Peningkatan tekanan dengan kedalaman berhubungan dengan kerapatan fluida  $\rho$ . Volume pada fluida  $V = Ah$ , dimana  $h$  adalah ketinggian fluida, dan massa fluida  $m = \rho V = \rho Ah$ , jadi :

$$F_g = mg = \rho Agh$$

Atau dapat juga ditulis :

$$\begin{aligned} P_h &= p_0 + \rho gh \\ P_h - P_0 &= \rho gh \end{aligned}$$

Persamaan ini membuktikan kebenaran hukum pascal yang berhubungan dengan berat pada fluida.

Persamaan diatas dapat digambarkan dengan mengisi tabung seperti pada gambar 7.9 dan 7.10 dengan air dan dihubungkan oleh tube seperti pada gambar 7.11 .

Dengan persamaan :

$$\begin{aligned} P_a &= p_0 + \rho gh_a \\ P_b &= P_0 + \rho gh_b \end{aligned}$$

Kita substitusikan persamaan kedua dari persamaan kesatu, kita dapatkan :

$$\begin{aligned} p_a - p_b &= (P_0 + \rho gh_a) - (p_0 + \rho gh_b) \\ &= \rho gh_a - \rho gh_b = \rho g(h_a - h_b) \\ &= \rho gh \end{aligned}$$

Jadi **sifat fluida ketiga** adalah : tekanan dalam fluida saat diam adalah sama di setiap titik pada kedalaman yang sama. Dan perbedaan tekanan diantara titik a dan titik b pada kedalaman  $h_a$  dan  $h_b$  adalah :

$$P_a - p_b = \rho gh_a - \rho gh_b = \rho g(h_a - h_b)$$

### Tekanan atmosfer

Kita hidup di dasar pada udara pada atmosfer dimana tekanannya  $14.7 \text{ lb/in}^2$  atau  $1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ . Setiap unit tekanan disebut atmosfer, yang digambarkan dengan hubungan

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1.0133 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Nilai ini sebanding dengan tekanan rata-rata atmosfer di atas permukaan laut.

Kerapatan udara di atas permukaan laut berkurang karena tekanannya berkurang. Jika kerapatannya konstan, akan sebanding dengan ketinggian air laut.

Contoh, kota Mexico berada di ketinggian 1500 di atas permukaan laut, untuk menemukan tekanan  $P_a$  kota Mexico, kita ambil,  $h_0 = 1500$  m, kerapatan air laut  $1,2 \text{ kg/m}^3$ . kerapatan di kota Mexico sekitar  $1.0 \text{ kg/m}^3$ , jadi kerapatan rata-ratanya  $1,1 \text{ kg/m}^3$ .

$$\begin{aligned} P_a - p_0 &= \rho g h_a - \rho g h_0 \\ &= -(1.1)(9.8)(1.5 \times 1000) \\ &= -0.16 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Tekanan di Mexico City lebih kecil daripada tekanan di laut. Dengan  $P_0 = 1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , tekanan di kota Mexico sebesar :

$$\begin{aligned} P_a &= P_0 - 0.16 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\ &= 0.85 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

### Tekanan gauge

Tekanan fluida pada titik dalam tubuh makhluk hidup selalu dianggap sebagai perbedaan  $p$  antara *tekanan absolute*  $p$  pada titik tersebut dan *tekanan atmosfer*  $p_0$ . Tekanan ini disebut dengan tekanan gauge.

$$\text{Tekanan gauge} = p - p_0$$

Darah mengalir dari aorta ke arteri utama dalam tubuh. Arteri ini bereblok cabangnya pada pembuluh yang lebih kecil hingga mencapai kapiler-kapiler.

Sebagai contoh, pada manusia tekanan darah yang dipompa dari jantung sekitar  $1 \text{ lb/in}^2$  ( $100 \text{ mmHg}$ ). Ini adalah tekanan gauge, ini adalah kelebihan tekanan di atas tekanan atmosfer.

### Manometers dan barometers

Tekanan gauge dapat diukur oleh alat yang disebut dengan *manometer pipa terbuka* alat ini berupa pipa berbentuk U yang bagiannya diisi dengan cairan, biasanya air atau merkuri

Tekanan darah diukur dengan menggunakan manometer merkuri. Pada prinsipnya, manometer juga dapat digunakan untuk mengukur tekanan pada atmosfer, ini adalah alat yang disebut dengan barometer.

### Gaya apung

Saat mengukur berat suatu benda di dalam air, beratnya akan lebih kecil daripada saat diukur di udara, ini disebabkan air mengerjakan gaya ke atas atau pada benda tersebut, inilah yang disebut dengan gaya apung. Gaya ini tergantung pada kerapatan dan volume benda, tetapi tidak bergantung pada bentuk dan komposisi benda tersebut

$$F_a - F_b = P_a A - P_b A$$

Dimana  $F_a > F_b$ , inilah yang disebut dengan hukum Archimedes, atau sederhananya, disebut dengan sifat fluida keempat.

**Sifat fluida keempat**, yaitu gaya apung dikerjakan oleh fluida pada benda yang besarnya sama dengan berat benda yang tenggelam dalam fluida.

### **Aliran fluida**

Ini adalah 3 bagian terakhir dalam fluida diam. Fluida bergerak pada umumnya lebih rumit, tetapi sangat penting untuk memahami fenomena-fenomena yang ada seperti bagaimana pesawat terbang bekerja, serangga yang berdiri diatas air, dan sirkulasi udara di dalam atmosfer. Walaupun prinsip fluida bergerak hanyalah hukum Newton, tetapi persamaan-persamaannya mengganbarkan betapa rumitnya gerak pada fluida.

### **Viskositas**

Perbedaan antara fluida diam dan mengalir adalah, pada fluida mengalir dikerjakan gaya parallel, sedangkan pada fluida yang diam tidak.

Koefisien viskositas :  $F = \eta (vA)/z$

Bila kecepatan aliran suatu fluida menjadi cukup besar, aliran laminer rusak dan turbulensi terjadi. Kecepatan kritis yang diatasnya lewat pipa adalah turbulen tergantung pada kerapatan dan viskotas fluida dari pada jari – jari pipa. Aliran fluida dapat digolongkan oleh bilangan tak berdimensi yang dinamakan **bilangan Reynolds**  $N_r$  yang didefinisikan sebagai

$$N_r = (2rv\rho)/\eta$$

Dengan  $v$  adalah kecepatan rata – rata fluida. Eksperimen menunjukkan bahwa aliran adalah laminer bila bilangan Reynolds kurang dari 2000 dan turbulen lebih besar dari 3000. Diantara nilai – nilai ini, aliran adalah tidak stabil dan dapat berubah antara satu jenis ke jenis yang lain.

Laju aliran fluida dapat dituliskan dalam persamaan :

$$Q = V/t = (Ad)/(d/v) = Av \\ = \pi r^2 v$$

Dimana  $Q$  adalah laju aliran fluida,  $V$  adalah volume wadah penampung fluida,  $t$  adalah waktu,  $v$  adalah kecepatan aliran fluida. Dan  $r$  adalah jari-jari luas penampang aliran fluida tersebut.

## APLIKASI DALAM BIOLOGI

### Aliran darah

Aorta sangat besar untuk perbedaan tekanan hanya 3mm yang dibutuhkan untuk memelihara aliran darah normal. Dengan begitu, jika tekanan darah sebesar 100 mmHg saat darah memasuki aorta, tekanannya akan berkurang menjadi 97 mmhg saat darah memasuki arteri utama. Karena pembuluh ini memiliki diameter yang jauh lebih kecil daripada aorta, maka tekanan akan menurun sebesar 17 mmHg, yang dibutuhkan untuk memelihara aliran darahnya. Oleh karena itu tekanannya hanya 85mmHg saat darah memasuki arteri yang lebih kecil. Pembuluh ini masih memiliki diameter yang lebih kecil, sehingga tekanan menurun 55mmHg, yang dibutuhkan untuk memelihara aliran darah tetap stabil. Akhirnya ada penurunan yang lebih jauh, yaitu menjadi 20 mmHg saat darah melewati kapiler-kapiler. Dengan begitu tekanan darah menurun hingga 10 mmHg saat mencapai urat-urat (pembuluh Vena). gambar 7.26 menunjukkan macam-macam skema tekanan darah saat bersirkulasi.

Itu menyenangkan untuk dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q = (P_1 - P_2) / R$$

$$R = (8\eta L) / \pi r^4$$

Dengan R adalah hambatan dari pembuluh tunggal. persamaan di atas juga berlaku untuk jaringan kompleks dari pembuluh yang saling berhubungan, seperti pembuluh darah dalam sistem sirkulasi, hambatan total yang dihitung terdiri dari satuan pembuluh dalam jaringan. prosedur ini juga dapat dilakukan untuk menghitung hambatan total dari sirkuit elektronika. persamaan di atas menunjukkan hubungan antara tekanan darah dan hambatannya. contoh, aliran darah normal orang dewasa  $Q = 0.83 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ , total tekanan yang menurun dari aorta hingga kapiler-kapiler adalah

$$P_1 - P_2 = 90 \text{ mmHg} = 1.2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

Jadi total hambatan pada semua arteri, arteri, dan kapiler dalam tubuh sebesar :

$$\begin{aligned} R &= (p_1 - p_2) / Q = (1.2 \times 10^4 \text{ n/m}^2) / (0.83 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}) \\ &= 1.44 \times 10^8 \text{ Ns/m}^5 \end{aligned}$$

Jika hambatan total tubuh menjadi besar secara tidak normal, maka tekanan darah harus memelihara laju aliran darah. Ini adalah kondisi pada penderita tekanan darah tinggi, dimana yang menjadi penyebab 12% meninggalnya manusia di seluruh dunia. Dengan kata lain, hambatan menjadi lebih rendah saat tekanan darah tidak berubah, darah yang mengalir (Q) besarnya meningkat. Selama berolahraga, terjadi peningkatan tekanan darah dan penurunan hambatan darah, menghasilkan peningkatan laju aliran darah. Penurunan hambatan darah disebabkan oleh meningkatnya diameter pembuluh darah.

Efek dari tekanan darah tinggi adalah menyebabkan jantung bekerja lebih keras daripada biasanya. kuatnya arus  $P$  yang keluar dari jantung adalah usaha yang dikerjakan oleh jantung dibagi waktu dalam memompa darah tersebut. Sama engannya besarnya gaya  $F$  yang dikerjakan jantung dikali jarak darah bergerak dalam 1 detik.

$$P = Fd$$

Gaya disini hanya lah tekanan yang dikerjakan jantung pada aorta dengan luas penampang aorta tertentu.

$$F = pA$$

Laju aliran darah  $Q$  adalah volume darah yang melewati aorta dalam 1 detik. Jadi dalam 1 detik volume darah yang bergerak sejauh :

$$D = Q/A$$

Oleh karena itu, kuat arus yang keluar dari jantung

$$\begin{aligned} P &= Fd \\ &= pA Q/A \\ &= pQ \end{aligned}$$

Rata-rata tekanan darah normal orang dewasa adalah  $100 \text{ mmHg} = 1.3 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ , jadi

$$\begin{aligned} P &= (1.3 \times 10^4 \text{ N/m}^2)(0.83 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}) \\ &= 1.1 \text{ Nm/s} = 1.1 \text{ J/s} = 1.1 \text{ w} \end{aligned}$$

Dengan begitu, daya keluaran normal dari jantung sebesar 1 w atau hanya 1 % dari daya yang dikerjakan oleh tubuh.