

## MEKANIKA FLUIDA

### PENDAHULUAN

Zat yang tersebar di alam dibedakan dalam tiga keadaan (fase), yaitu fase padat, cair dan gas. Beberapa perbedaan di antara ketiganya adalah: 1) Fase padat, zat mempertahankan suatu bentuk dan ukuran yang tetap, meskipun suatu gaya yang besar dikerjakan pada benda tersebut. 2) Fase cair, zat tidak mempertahankan bentuk yang tetap melainkan mengikuti bentuk wadahnya. Tetapi seperti halnya fase padat, pada fase cair, zat tidak mudah dimampatkan, dan volumenya dapat diubah hanya jika dikerjakan gaya yang sangat besar. 3) Fase gas, zat tidak mempunyai bentuk tetap, tetapi akan berkembang mengisi seluruh wadah.

Karena fase cair dan gas memiliki karakter tidak mempertahankan suatu bentuk yang tetap, maka keduanya mempunyai kemampuan untuk mengalir; dengan demikian keduanya disebut fluida. Fluida adalah zat alir, yaitu zat yang dalam keadaan biasa dapat mengalir. Salah satu ciri fluida adalah kenyataan bahwa jarak antar molekulnya tidak tetap, bergantung pada waktu. Ini disebabkan oleh lemahnya ikatan antara molekul (gaya kohesi).

Gaya kohesi antar molekul gas sangat kecil jika dibandingkan gaya kohesi antar molekul zat cair. Keadaan ini menyebabkan molekul-molekul gas menjadi relatif bebas sehingga gas selalu memenuhi ruang. Sebaliknya molekul-molekul zat cair terikat satu sama lainnya sehingga membentuk suatu kesatuan yang jelas, meskipun bentuknya sebagian ditentukan oleh wadahnya.

Akibat lainnya adalah kemampuannya untuk dimampatkan. Gas bersifat mudah dimampatkan sedangkan zat cair sulit. Gas jika dimampatkan dengan tekanan yang cukup besar akan berubah menjadi zat cair. Mekanika gas dan zat cair yang bergerak mempunyai perbedaan dalam beberapa hal, tetapi dalam keadaan diam keduanya mempunyai perilaku yang sama dan ini dipelajari dalam statika fluida. Selain Statika Fluida, pada bagian ini juga akan dikaji dinamika fluida.

### STATIKA FLUIDA

#### Kerapatan dan Berat Jenis

Kerapatan (densitas) suatu benda,  $\rho$ , didefinisikan sebagai massa per satuan volume:

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

dengan  $m$  adalah massa benda dan  $V$  adalah volume benda. Dengan demikian, Satuan Internasional untuk kerapatan adalah  $\text{kg/m}^3$ , dan dalam cgs adalah  $\text{g/cm}^3$

Selain kerapatan, besaran lain yang sering digunakan dalam menangani persoalan fluida adalah berat jenis. Berat jenis suatu benda didefinisikan sebagai perbandingan kerapatan benda tersebut terhadap kerapatan air pada suhu  $4^{\circ}\text{C}$ . Dengan demikian berat jenis merupakan besaran murni tanpa dimensi maupun satuan.

## Tekanan Fluida

Gaya merupakan unsur utama dalam kajian mekanika benda titik. Dalam mekanika fluida, unsur yang paling utama tersebut adalah tekanan. Tekanan adalah gaya yang dialami oleh suatu titik pada suatu permukaan fluida persatuan luas dalam arah tegak lurus permukaan tersebut. Secara matematis, tekanan  $p$  didefinisikan melalui hubungan

$$p = \frac{dF}{dA}, \quad (2)$$

dimana  $dF$  adalah gaya yang dialami oleh elemen luas  $dA$  dari permukaan fluida. Satuan tekanan adalah  $\text{N/m}^2$  atau pascal (Pa).

Secara mikroskopik, gaya merupakan pertambahan momentum per satuan waktu yang disebabkan oleh tumbukan molekul-molekul fluida di permukaan tersebut. Permukaan ini bisa berupa permukaan batas antara fluida dengan wadahnya, tetapi ia bisa pula berbentuk permukaan imajiner yang kita buat pada fluida. Tekanan merupakan besaran skalar, bukan suatu besaran vektor seperti halnya gaya.

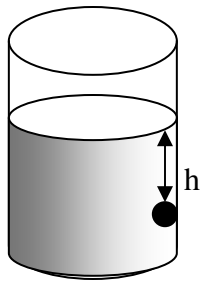
## Hubungan Tekanan dengan Kedalaman

Dengan menggunakan hukum newton, kita dapat menurunkan persamaan yang menghubungkan tekanan dengan kedalaman fluida:

$$p = p_o + \rho gh, \quad (3)$$

$p_o$  adalah tekanan di permukaan.

Dengan memahami bahwa tekanan pada kedalaman  $h$  disebabkan oleh tekanan udara luar dan juga oleh gaya (berat) cairan yang berada di atasnya, buktikan bahwa persamaan (3) di atas benar-benar diturunkan dari hukum newton!



Gamabr 1. Tekanan pada kedalaman  $h$ .

Jawab:

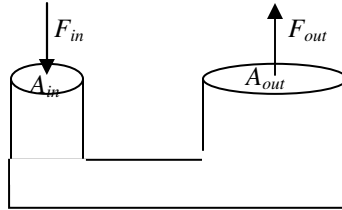
Persamaan (3) menyatakan hubungan antara tekanan  $p$  dan kedalaman  $h$ . Hubungan ini juga menyatakan bahwa tempat-tempat yang mempunyai posisi vertikal sama akan mempunyai tekanan yang sama.

## HUKUM-HUKUM HIDROSTATIKA

Dari persamaan distribusi tekanan, kita dapat menurunkan hukum-hukum hidrostatisa yang terkenal. Karena persamaan distribusi tekanan adalah konsekuensi hukum newton, maka dapat disimpulkan bahwa hukum-hukum tersebut bukanlah hukum fundamental. Artinya kita tidak memerlukan mekanika khusus untuk fluida. Berikut adalah penurunan hukum-hukum hidrostatisa dari persamaan tekanan fluida.

## Hukum Pascal

Hukum Pascal mengatakan bahwa, "tekanan pada suatu titik akan diteruskan ke semua titik lain secara sama". Artinya, bila tekanan pada suatu titik dalam zat cair ditambah dengan suatu harga, maka tekanan semua titik di tempat lain pada zat cair yang sama akan bertambah dengan harga yang sama pula.



Gambar 2. Hukum Pascal

Dengan hukum ini, sebuah gaya yang kecil dapat digunakan untuk menghasilkan gaya yang besar dengan membuat luas penampang keluaran lebih besar daripada luas penampang masukan. Hal ini terjadi karena tekanan pada masukan dan keluaran akan sama pada ketinggian yang sama. Dengan demikian, akan diperoleh:

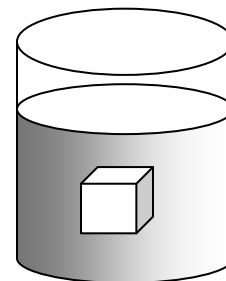
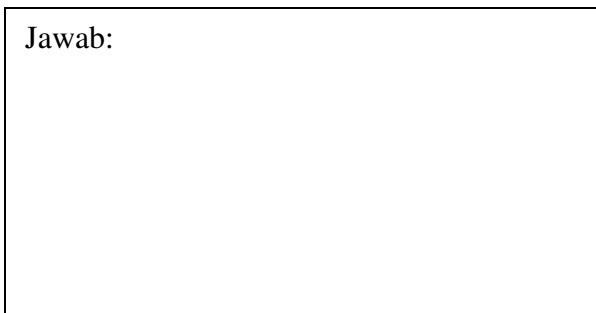
$$\begin{aligned} P_{in} &= P_{out} \\ \frac{F_{in}}{A_{in}} &= \frac{F_{out}}{A_{out}} \end{aligned} \quad (4)$$

## Gaya Apung dan Hukum Archimedes

Berat benda yang tenggelam di dalam fluida terasa lebih ringan daripada saat benda tersebut berada di luar fluida. Hal ini terjadi karena ada gaya apung ke atas yang dikerjakan oleh fluida. Gaya apung terjadi karena tekanan dalam sebuah fluida naik sebanding dengan kedalaman. Dengan demikian, tekanan ke atas pada permukaan bawah benda yang tenggelam lebih besar daripada tekanan ke bawah pada permukaan atas benda. Sehingga ada tekanan netto ke arah atas; tekanan inilah yang menjadi indikator keberadaan gaya apung.

Sebuah balok melayang pada suatu tabung yang berisi fluida tertentu, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Gaya apung didefinisikan sebagai selisih antara gaya ke atas yang dilakukan oleh fluida di bagian bawah benda dengan gaya ke bawah yang dilakukan oleh fluida di bagian atas benda. Berdasarkan perumusan tersebut, buktikan bahwa besarnya gaya apung adalah

$$F_A = \rho g V \quad (5)$$



Gambar 3. Gaya apung pada Fluida

Berdasarkan Persamaan (5), gaya apung yang dialami kubus sama dengan banyaknya fluida yang dipindahkan. Pernyataan ini dikenal sebagai hukum archimedes. Selengkapnya hukum archimedes mengatakan bahwa, "Setiap benda yang berada dalam suatu fluida, maka benda itu akan mengalami gaya keatas, yang disebut gaya apung, sebesar berat air yang dipindahkannya".

Bila gaya archimedes,  $F_A$  sama dengan gaya berat  $W$ ,  $F_A = W$ , maka resultan gaya = 0 dan benda melayang .

Bila gaya archimedes,  $F_A > W$  maka benda akan terdorong keatas hingga mengapung di permukaan.

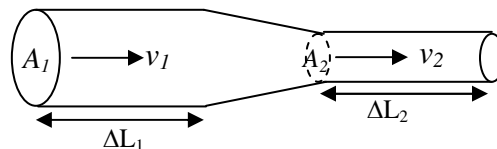
Bila gaya archimedes,  $F_A < W$  maka benda akan terdorong kebawah dan tenggelam sampai ke dasar fluida.

### DINAMIKA FLUIDA

Dinamika fluida membahas tentang gerak fluida. Aliran fluida dibedakan menjadi dua tipe, yaitu: 1) Aliran lurus (*streamline*) atau aliran laminar. Terjadi jika aliran lancar, sehingga lapisan fluida yang saling berdekatan mengalir dengan lancar. Setiap partikel fluida mengikuti sebuah lintasan lurus yang tidak saling menyilang. 2) Aliran turbulen atau aliran bergolak. Di atas kecepatan tertentu, yang tergantung pada sejumlah faktor, aliran akan bergolak. Aliran ini dicirikan oleh ketidaktentuan, kecil, melingkar-lingkar seperti pusaran air yang disebut sebagai arus eddy atau kisanan.

### Laju Aliran Massa dan Persamaan Kontinuitas

Massa fluida yang bergerak tidak berubah ketika mengalir. Fakta ini membimbing kita pada hubungan kuantitatif penting yang disebut persamaan kontinuitas.



Gambar 4. Laju Aliran Massa

Volume fluida yang mengalir pada bagian pertama,  $V_1$ , yang melewati luasan  $A_1$  dengan laju  $v_1$  selama rentang waktu  $\Delta t$  adalah  $A_1 v_1 \Delta t$ . Dengan mengetahui hubungan Volume dan Massa jenis, maka laju aliran massa yang melalui luasan  $A_1$  adalah:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\rho_1 A_1 v_1 \Delta t}{\Delta t} = \rho_1 A_1 v_1 \quad (6)$$

Keadaan yang sama terjadi pada bagian kedua. Laju aliran massa yang melewati  $A_2$  selama rentang waktu  $\Delta t$  adalah:

$$\rho_2 A_2 v_2 \quad (7)$$

Volume fluida yang mengalir selama rentang waktu  $\Delta t$  pada luasan  $A_1$  akan memiliki jumlah yang sama dengan volume yang mengalir pada  $A_2$ . Dengan demikian:

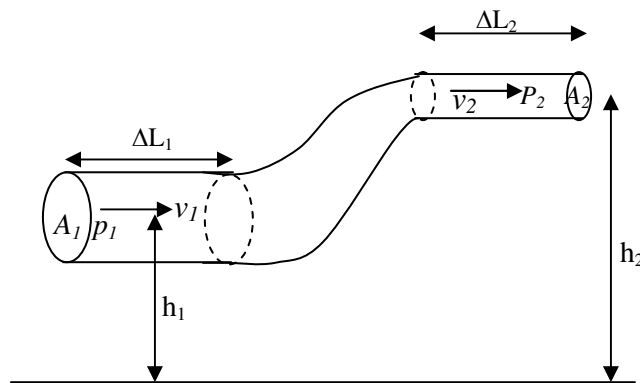
$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (8)$$

Persamaan (8) disebut sebagai persamaan kontinuitas. Jika  $\rho_1 = \rho_2$ , maka persamaan tersebut dapat ditampilkan sebagai berikut:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (9)$$

### PERSAMAAN BERNOULLI

Salah satu persamaan fundamental dalam persoalan dinamika fluida adalah persamaan Bernoulli. Persamaan ini memberi hubungan antara tekanan, kecepatan dan ketinggian pada titik-titik sepanjang garis alir. Penurunan persamaan Bernoulli dapat dilakukan dengan menggunakan hukum kekekalan energi, dalam hal ini kerja total (net-work) sama dengan perubahan energi mekanik total yaitu perubahan energi kinetik ditambah perubahan energi potensial. Fluida dinamika yang memenuhi hukum Bernoulli adalah fluida ideal yang karakteristiknya; mengalir dengan garis-garis arus atau aliran tunak, tak kompresibel dan tak kental.



Gambar 4. Aliran Fluida dengan ketinggian berbeda

Dengan menggunakan hukum kekekalan energi, dalam hal ini kerja total (net-work) sama dengan perubahan energi mekanik total, yaitu perubahan energi kinetik ditambah perubahan energi potensial, buktikan bahwa Persamaan (10) adalah benar.

Jawab:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

atau

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

(10)

Persamaan (10) biasa disebut sebagai Persamaan Bernoulli.