



MATERIAJAR FISIKA FLUIDA



UNTUK KELAS XI SMA

Oleh
Saharuddin

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi fluida ini secara menyeluruh, peserta didik diharapkan mampu:

1. Menjelaskan konsep dasar fluida, membedakan fluida statis dan fluida dinamis, serta menyebutkan ciri-ciri fluida ideal.
2. Menjelaskan dan menerapkan konsep tekanan hidrostatik serta Hukum Pascal dalam berbagai permasalahan dan alat hidrolik.
3. Menjelaskan bunyi Hukum Archimedes, menurunkan rumus gaya apung, serta menganalisis syarat benda terapung, melayang, dan tenggelam.
4. menjelaskan dan menerapkan Persamaan Kontinuitas serta Asas Bernoulli pada aliran fluida ideal beserta penurunan rumusnya.
5. Mengaitkan konsep-konsep fluida statis dan dinamis dengan fenomena alam serta penerapan teknologi dalam kehidupan sehari-hari.

A. Fluida Statis (Fluida Diam)

Fluida statis atau hidrostatis adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari perilaku fluida (zat cair maupun gas) dalam keadaan diam, artinya tidak ada gerakan relatif antarpartikel fluida maupun antara fluida dengan wadahnya. Meskipun disebut “diam”, fluida tetap memberikan pengaruh berupa tekanan ke segala arah akibat berat dan sifat molekulnya yang dapat mengalir dan menyesuaikan bentuk wadah.

Dalam mempelajari fluida statis, terdapat beberapa besaran penting yang perlu dipahami terlebih dahulu, yaitu massa jenis (ρ), yang menyatakan perbandingan massa terhadap volume suatu zat, dan tekanan (P), yang menyatakan besar gaya yang bekerja tegak lurus per satuan luas permukaan. Ketiga hukum utama yang dibahas pada bab ini adalah Tekanan Hidrostatik, Hukum Pascal, dan Hukum Archimedes.

1. Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang ditimbulkan oleh berat fluida diam terhadap suatu titik pada kedalaman tertentu di dalam fluida tersebut. Semakin dalam suatu titik berada di bawah permukaan fluida, semakin besar pula tekanan yang dialaminya, karena semakin banyak fluida di atasnya yang menekan ke bawah. Konsep ini menjelaskan mengapa penyelam merasakan tekanan telinga yang semakin besar ketika menyelam semakin dalam, dan mengapa dinding bendungan dibuat semakin tebal di bagian dasarnya.

Ada tiga faktor yang memengaruhi besar tekanan hidrostatik pada suatu titik, yaitu massa jenis fluida (ρ), percepatan gravitasi (g), dan kedalaman titik tersebut diukur dari permukaan fluida (h). Menariknya, tekanan hidrostatik tidak dipengaruhi oleh bentuk maupun luas penampang wadah, sehingga dua wadah dengan bentuk berbeda namun kedalaman fluida yang sama akan memiliki tekanan hidrostatik yang sama pada kedalaman tersebut. Sifat ini dikenal dengan istilah paradoks hidrostatis, dan menjadi dasar prinsip bejana berhubungan, yaitu permukaan fluida sejenis dalam bejana-bejana yang saling berhubungan akan selalu berada pada ketinggian yang sama meskipun bentuk bejananya berbeda-beda.

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

Keterangan:

P_h = tekanan hidrostatik (Pa atau N/m^2),

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3),

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

h = kedalaman titik dari permukaan fluida (m).

Penerapan dalam Kehidupan

- Dinding bendungan dibuat lebih tebal di bagian bawah karena tekanan air semakin besar pada kedalaman yang lebih besar.
- Penyelam harus menyesuaikan tekanan udara dalam tubuhnya (equalisasi) ketika menyelam semakin dalam.
- Prinsip bejana berhubungan digunakan pada sistem perpipaan air ledeng dan alat ukur tekanan seperti manometer.
- Kapal selam mengatur kedalaman menyelam dengan memperhitungkan tekanan hidrostatik air laut terhadap badan kapal.

2. Hukum Pascal

Hukum Pascal dicetuskan oleh ilmuwan Prancis, Blaise Pascal, yang menyatakan bahwa tekanan yang diberikan pada fluida di dalam ruang tertutup akan diteruskan ke segala arah dan ke seluruh bagian fluida serta dinding wadahnya dengan besar yang sama. Prinsip ini berbeda dengan tekanan hidrostatik yang bergantung pada kedalaman; pada Hukum Pascal, tekanan tambahan yang diberikan dari luar akan dirasakan secara merata di seluruh titik dalam fluida tertutup tersebut.

Konsep inilah yang mendasari cara kerja berbagai peralatan hidrolik. Dengan memberikan gaya kecil pada penampang yang sempit, akan dihasilkan tekanan yang diteruskan secara merata sehingga mampu menghasilkan gaya yang jauh lebih besar pada penampang yang lebih luas. Prinsip ini memberikan keuntungan mekanis yang besar, sehingga gaya kecil dapat digunakan untuk mengangkat beban yang sangat berat, seperti pada dongkrak hidrolik yang mampu mengangkat mobil hanya dengan tenaga tangan manusia.

$$P_1 = P_2 \rightarrow F_1 / A_1 = F_2 / A_2$$

Keterangan:

F_1 = gaya pada penampang kecil (N),

A_1 = luas penampang kecil (m^2),

F_2 = gaya pada penampang besar (N),

A_2 = luas penampang besar (m^2).

Karena tekanan yang diberikan pada fluida tertutup diteruskan sama besar ke segala arah ($P_1 = P_2$), maka perbandingan gaya terhadap luas penampang pada kedua sisi haruslah sama.

Penerapan dalam Teknologi

- Dongkrak hidrolik untuk mengangkat kendaraan bermotor.
- Sistem rem hidrolik pada mobil dan sepeda motor.
- Mesin press hidrolik pada industri manufaktur.
- Kursi dokter gigi dan kursi salon yang dapat dinaik-turunkan.
- Alat pengangkat berat (crane hidrolik) pada alat berat konstruksi.

3. Hukum Archimedes

Hukum Archimedes menjelaskan fenomena gaya apung (buoyant force) yang dialami oleh benda ketika dicelupkan sebagian atau seluruhnya ke dalam suatu fluida. Hukum ini menyatakan bahwa setiap benda yang dicelupkan ke dalam fluida, baik sebagian maupun seluruhnya, akan mengalami gaya ke atas yang besarnya sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut. Gaya apung inilah yang menyebabkan benda terasa lebih ringan ketika berada di dalam air dibandingkan di udara.

Gaya apung muncul akibat adanya perbedaan tekanan hidrostatik antara bagian bawah dan bagian atas benda yang tercelup. Karena tekanan hidrostatik meningkat seiring bertambahnya kedalaman, maka tekanan yang bekerja pada permukaan bawah benda selalu lebih besar daripada tekanan pada permukaan atasnya, sehingga menghasilkan gaya netto yang mengarah ke atas.

$$F_a = \rho_f \cdot V_{bf} \cdot g$$

Keterangan:

F_a = Gaya apung (gaya Archimedes), satuan Newton (N)

ρ_f = Massa jenis fluida, satuan kg/m^3

g = Percepatan gravitasi ($\approx 9,8$ atau 10 m/s^2), satuan m/s^2

V_b = Volume benda yang tercelup dalam cairan, satuan m^3

Catatan penting: V_b adalah volume bagian benda yang tercelup dalam fluida, bukan selalu volume total benda (kecuali benda tenggelam seluruhnya).

Tiga Kondisi Benda dalam Fluida

1. Terapung (Mengapung)

Terjadi jika massa jenis benda lebih kecil dari massa jenis fluida.

$$\rho_{\text{benda}} < \rho_{\text{cairan}}$$



Sebagian benda berada di atas permukaan cairan, sebagian tercelup. Gaya apung sama dengan berat benda, tetapi volume yang tercelup lebih kecil dari volume total benda. Contoh: gabus, kayu, kapal, es batu di udara.

2. Melayang (Diskors)

Terjadi jika massa jenis benda sama dengan massa jenis fluida.

$$\rho_{\text{benda}} = \rho_{\text{cairan}}$$

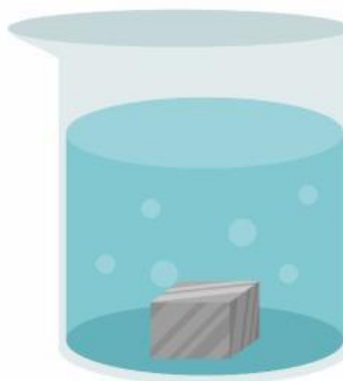


Benda tercelup seluruhnya namun tidak menyentuh dasar wadah dan tidak mengapung ke permukaan. Contoh: ikan yang diam di kedalaman tertentu, kapal selam saat menyeimbangkan diri.

3. Tenggelam (Sinking)

Terjadi jika massa jenis benda lebih besar dari massa jenis fluida.

$$\rho_{\text{benda}} > \rho_{\text{cairan}}$$



Gaya berat benda lebih besar daripada gaya apung sehingga benda jatuh ke dasar wadah. Contoh: batu, besi padat, koin logam di dalam udara.

Penerapan Hukum Archimedes dalam Kehidupan Sehari-hari

1. Kapal laut dan kapal selam dimana dirancang berongga sehingga volume yang besar menghasilkan gaya apung yang mampu menahan beratnya, meskipun terbuat dari logam berat.
2. Jembatan ponton dimana memanfaatkan drum/pelampung berongga agar dapat menopang beban di atas udara.
3. Hidrometer dimana alat pengukur massa jenis zat cair (misalnya cairan aki) berdasarkan seberapa banyak dalam alat tersebut tercelup.
4. Balon udara dan kapal udara (Zeppelin) dimana menerapkan prinsip serupa pada fluida gas (udara).
5. Jaket pelampung (life jacket) dimana memperbesar volume tubuh yang tercelup sehingga gaya apung meningkat dan tubuh lebih mudah mengapung.
6. Telur di air garam dimana larutan garam yang lebih pekat memiliki jenis massa lebih besar sehingga gaya apungnya mampu mengapungkan telur.

B. Fluida Dinamis (Fluida Bergerak)

Fluida dinamis mempelajari perilaku fluida yang bergerak atau mengalir. Untuk menyederhanakan analisis, pembahasan fluida dinamis pada tingkat dasar biasanya menggunakan model fluida ideal, yaitu fluida yang dianggap memiliki empat sifat utama: tidak kompresibel (massa jenisnya tetap meskipun tekanan berubah), tidak memiliki gesekan internal atau viskositas, alirannya tunak atau steady (kecepatan aliran fluida di suatu titik tidak berubah terhadap waktu), dan alirannya laminar atau garis arus (streamline), artinya lintasan aliran fluida tidak saling berpotongan.

Dengan asumsi fluida ideal tersebut, dua konsep utama yang menjadi dasar analisis aliran fluida adalah Persamaan Kontinuitas, yang berkaitan dengan kekekalan massa fluida yang mengalir, dan Asas Bernoulli, yang berkaitan dengan kekekalan energi pada aliran fluida.

1. Persamaan kontinuitas

Persamaan Kontinuitas menjelaskan hubungan antara kecepatan aliran fluida dengan luas penampang pipa yang dilaluinya. Debit aliran (Q) didefinisikan sebagai volume fluida yang mengalir melewati suatu penampang per satuan waktu. Pada aliran fluida ideal yang mengalir melalui pipa tertutup tanpa ada kebocoran maupun sumber tambahan, nilai debit aliran akan selalu konstan di setiap titik sepanjang pipa, meskipun luas penampang pipa tersebut berubah-ubah.

Konsekuensi penting dari persamaan kontinuitas adalah ketika fluida mengalir melalui bagian pipa yang lebih sempit, kecepatan alirannya akan meningkat, dan sebaliknya, ketika melalui bagian pipa yang lebih lebar, kecepatan alirannya akan melambat. Fenomena inilah yang dapat dirasakan ketika kita menutup sebagian ujung selang air dengan jari; air akan menyembur lebih cepat dan lebih jauh karena luas penampang keluaran mengecil.

$$Q = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

Keterangan:

Q = debit aliran (m^3/s),

A_1, A_2 = luas penampang pipa pada titik 1 dan titik 2 (m^2),

v_1, v_2 = kecepatan aliran fluida pada titik 1 dan titik 2 (m/s).

Penerapan dalam Kehidupan

- Menutup sebagian ujung selang taman untuk menghasilkan pancaran air yang lebih kencang.
- Desain nozzle pada alat pemadam kebakaran agar air dapat menyembrot lebih jauh.
- Perhitungan debit air pada sistem irigasi dan jaringan pipa air minum (PDAM).
- Analisis aliran darah dalam pembuluh darah manusia yang menyempit maupun melebar.

2. Asas Bernoulli

Asas Bernoulli, yang dikemukakan oleh Daniel Bernoulli, merupakan penerapan hukum kekekalan energi pada aliran fluida. Asas ini menyatakan bahwa pada aliran fluida ideal di sepanjang suatu garis arus, jumlah antara tekanan (P), energi kinetik per satuan volume ($\frac{1}{2} \rho v^2$), dan energi potensial per satuan volume ($\rho g h$) akan selalu bernilai konstan di setiap titik, meskipun nilai masing-masing komponen dapat berubah dari satu titik ke titik lainnya.

Secara fisis, persamaan Bernoulli menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara tekanan fluida dengan kecepatan alirannya pada ketinggian yang sama: semakin cepat suatu fluida mengalir, semakin rendah tekanan yang dihasilkannya, dan sebaliknya. Prinsip inilah yang mendasari banyak fenomena dan aplikasi teknologi, mulai dari gaya angkat pesawat terbang hingga cara kerja alat penyemprot parfum.

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

Keterangan:

P = tekanan fluida (Pa),

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3),

v = kecepatan aliran fluida (m/s),

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

h = ketinggian titik terhadap acuan tertentu (m).

Persamaan ini sering ditulis dalam bentuk perbandingan dua titik, yaitu :

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2.$$

Penerapan dalam Kehidupan dan Teknologi

- Gaya angkat sayap pesawat terbang: bentuk sayap dirancang agar aliran udara di atas sayap bergerak lebih cepat daripada di bawah sayap, sehingga tekanan di bawah sayap lebih besar dan menghasilkan gaya angkat ke atas.
- Venturimeter, alat untuk mengukur kecepatan aliran fluida dalam pipa dengan memanfaatkan perbedaan tekanan akibat perubahan luas penampang pipa.
- Karburator pada mesin kendaraan bermotor, yang menggunakan penyempitan saluran udara untuk menurunkan tekanan sehingga bahan bakar dapat terhisap dan tercampur dengan udara.
- Alat penyemprot parfum dan cat semprot, yang memanfaatkan aliran udara cepat untuk menurunkan tekanan sehingga cairan dapat terhisap ke atas dan tersembur keluar.
- Atap rumah yang dapat terangkat atau bahkan terlepas saat angin kencang, akibat aliran udara cepat di atas atap yang menurunkan tekanan udara di bagian atas dibandingkan tekanan udara di dalam rumah.

Rangkuman

Fluida (zat cair dan gas) berperilaku berbeda tergantung apakah ia diam (statis) atau bergerak (dinamis), namun keduanya dibangun dari prinsip fisika dasar yang sama hukum kekekalan (gaya, massa, dan energi) yang diterapkan pada zat yang dapat mengalir dan menyesuaikan bentuk wadahnya.

Pada fluida statis, tekanan muncul semata karena berat fluida dan kedalaman (tekanan hidrostatis), dapat diteruskan merata untuk melipatgandakan gaya (Hukum Pascal), dan melahirkan gaya ke atas yang menentukan apakah benda terapung, melayang, atau tenggelam (Hukum Archimedes). Ketiganya sebenarnya konsekuensi logis dari satu ide: semakin dalam, semakin besar tekanan.

Pada fluida dinamis, dengan asumsi fluida ideal, berlaku dua hukum kekekalan: kekekalan massa (Persamaan Kontinuitas debit selalu konstan, sehingga penampang sempit membuat aliran lebih cepat) dan kekekalan energi (Asas Bernoulli kecepatan tinggi berarti tekanan rendah, dan sebaliknya).

Benang merah keduanya: hampir semua rumus fluida bisa diturunkan dari definisi dasar tekanan ($P = F/A$) dan hukum kekekalan energi/massa bukan rumus hafalan yang berdiri sendiri.

Relevansi: konsep-konsep ini menjelaskan banyak teknologi dan fenomena sehari-hari dari dongkrak hidrolik dan kapal laut, hingga gaya angkat pesawat terbang dan karburator menunjukkan bahwa fisika fluida bukan sekadar teori, tapi dasar dari banyak rekayasa nyata.