

Fluida Statis

Untuk SMA kelas XI

(Modul ini telah disesuaikan dengan KTSP)

Lisensi Dokumen:

Copyright © 2009 GuruMuda.Com

Seluruh dokumen di GuruMuda.Com dapat digunakan dan disebarakan secara bebas untuk tujuan bukan komersial (nonprofit), dengan syarat tidak menghapus atau merubah atribut penulis dan pernyataan copyright yang disertakan dalam setiap dokumen. Tidak diperbolehkan melakukan penulisan ulang, kecuali mendapatkan ijin terlebih dahulu dari GuruMuda.Com.

Penulis



Alexander San Lohat (San)

Saya berasal dari Waienga, Lembata – Flores Timur, Nusa Tenggara Timur (NTT). Saat ini kuliah pada Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Saya mendirikan gurumuda.com, situs elearning fisika SMA (gratis). Aktiv sebagai penulis materi pelajaran fisika SMA, mengelola konsultasi tugas sekolah dan bimbingan belajar fisika online pada situs saya.

Email : gurumudaweb@gmail.com

Website : gurumuda.com

Materi Pembelajaran :

Fluida Statis

Tujuan Pembelajaran :

Kompetensi Dasar :

Menganalisis hukum-hukum yang berhubungan dengan fluida statis serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari

Indikator :

- a. Memformulasikan hukum dasar fluida statis
- b. Menerapkan hukum dasar fluida statis pada masalah fisika sehari-hari

Tujuan pembelajaran di atas merupakan tuntutan dari Depdiknas RI dalam KTSP. Jadi dirimu harus mencapai Kompetensi dasar dan Indikator tersebut. Kalau tidak bisa, ntar dapat nilai merah :) alias tidak lulus. Nah, kali ini Gurumuda membimbing dirimu untuk bisa mencapai tujuan pembelajaran di atas.

Selamat Belajar ☺

FLUIDA STATIS

Pengertian Fluida

Dalam fisika, fluida diartikan sebagai suatu zat yang dapat mengalir. Anda mungkin pernah belajar di sekolah bahwa materi yang kita temui dalam kehidupan sehari-hari terdiri dari zat padat, cair dan gas. Nah, istilah fluida mencakup zat cair dan gas, karena zat cair seperti air atau zat gas seperti udara dapat mengalir. Zat padat seperti batu atau besi tidak dapat mengalir sehingga tidak bisa digolongkan dalam fluida. Untuk lebih memahami penjelasan gurumuda, alangkah baiknya jika kita tinjau beberapa contoh dalam kehidupan sehari-hari. Ketika dirimu mandi, dirimu pasti membutuhkan air. Untuk sampai ke bak penampung, air dialirkan baik dari mata air atau disedot dari sumur. Air merupakan salah satu contoh zat cair. Masih ada contoh zat cair lainnya seperti minyak pelumas, susu dan sebagainya. Semuanya zat cair itu dapat kita kelompokkan ke dalam fluida karena sifatnya yang dapat mengalir dari satu tempat ke tempat yang lain.

Selain zat cair, zat gas juga termasuk fluida. zat gas juga dapat mengalir dari satu satu tempat ke tempat lain. Hembusan angin merupakan contoh udara yang berpindah dari satu tempat ke tempat lain.

Zat padat tidak dapat digolongkan ke dalam fluida karena zat padat tidak dapat mengalir. Batu atau besi tidak dapat mengalir seperti air atau udara. Hal ini dikarenakan zat pada t cenderung tegar dan mempertahankan bentuknya sedangkan fluida tidak mempertahankan bentuknya tetapi mengalir. Selain zat padat, zat cair dan zat gas, terdapat suatu jenis zat lagi yang dinamakan plasma. Plasma merupakan zat gas yang terionisasi dan sering dinamakan sebagai "wujud keempat dari materi". Mengenai plasma dapat anda pelajari di perguruan tinggi. Yang pasti, plasma juga tidak dapat digolongkan ke dalam fluida.

Fluida merupakan salah satu aspek yang penting dalam kehidupan kita sehari-hari. Setiap hari kita menghirupnya, meminumnya dan bahkan terapung atau tenggelam di dalamnya. Setiap hari pesawat udara terbang melaluinya, kapal laut mengapung di atasnya; demikian juga kapal selam dapat mengapung atau melayang di dalamnya. Air yang kita minum dan udara yang kita hirup juga bersirkulasi di dalam tubuh kita setiap saat, hingga kadang tidak kita sadari. Jika dirimu ingin menikmati bagaimana indahnya konsep mekanika fluida bekerja, pergilah ke pantai. Jangan Cuma nonton, bila perlu ceburkan dirimu di pantai... stt... awas tenggelam kalau belum bisa berenang.

Pada penjelasan panjang lebar di atas, gurumuda sudah menjelaskan pengertian fluida yang menjadi pokok bahasan kita kali ini. Nah, dalam mempelajari Fluida, kita memilahnya menjadi dua bagian yakni Fluida statis (Fluida diam) dan Fluida Dinamis (Fluida bergerak). *Kataya fluida bergerak, kok ada fluida yang diam ?* dirimu jangan bingung, fluida memang merupakan zat yang dapat mengalir. Yang kita tinjau dalam Fluida statis adalah ketika fluida yang sedang diam pada keadaan setimbang. Jadi kita meninjau fluida ketika tidak sedang bergerak. Pada Fluida Dinamis, kita akan meninjau fluida ketika bergerak.

Massa jenis dan Berat jenis

Pernahkah dirimu mendengar istilah “Massa Jenis” dan “Berat Jenis” ? Kalau dirimu mengatakan belum, berarti pelajaran fisika yang telah diperoleh di SMP pasti telah lenyap dari “otak”. Hehe... pada kesempatan ini kita pelajari kembali apa yang dimaksudkan dengan massa jenis dan berat jenis dan bagaimana hubungannya dengan pokok bahasan Fluida yang saat ini kita pelajari. Selamat belajar, semoga dirimu tidak pusing-pusing...

Massa Jenis (Kerapatan)

Salah satu sifat penting dari suatu zat adalah kerapatan alias massa jenisnya. Istilah kerennya adalah densitas (density). Kerapatan alias massa jenis merupakan perbandingan massa terhadap volume zat. Secara matematis ditulis :

$$\rho = m/v$$

(ρ dibaca “rho”) merupakan huruf yunani yang biasa digunakan untuk menyatakan kerapatan, m adalah massa dan v adalah volume.

Kerapatan alias massa jenis fluida homogen (*sama*) pada dasarnya berbeda dengan kerapatan zat padat homogen. Besi atau es batu misalnya, memiliki kerapatan yang sama pada setiap bagiannya. Berbeda dengan fluida, misalnya atmosfer atau air. Pada atmosfer bumi, makin tinggi atmosfer dari permukaan bumi, kerapatannya semakin kecil sedangkan untuk air laut, misalnya, makin dalam kerapatannya semakin besar. Massa jenis alias kerapatan dari suatu fluida homogen dapat bergantung pada factor lingkungan seperti temperature (suhu) dan tekanan.

Satuan Sistem Internasional untuk massa jenis adalah kilogram per meter kubik (kg/m^3). Untuk satuan CGS alias centimeter, gram dan sekon, satuan Massa jenis dinyatakan dalam gram per centimeter kubik (gr/cm^3).

Berikut ini data massa jenis dari beberapa zat.

Zat	Kerapatan (kg/m^3)
Zat Cair	
Air	$1,00 \times 10^3$
Air Laut	$1,03 \times 10^3$
Darah	$1,06 \times 10^3$
Bensin	$0,68 \times 10^3$
Air raksa	$13,6 \times 10^3$
Zat Padat	
Es	$0,92 \times 10^3$
Aluminium	$2,70 \times 10^3$

Besi & Baja	$7,8 \times 10^3$
Emas	$19,3 \times 10^3$
Gelas	$2,4 - 2,8 \times 10^3$
Kayu	$0,3 - 0,9 \times 10^3$
Tembaga	$8,9 \times 10^3$
Timah	$11,3 \times 10^3$
Tulang	$1,7 - 2.0 \times 10^3$
Zat Gas	
Udara	1,293
Helium	0,1786
Hidrogen	0,08994
Uap air	0,6
(100 °C)	

Kerapatan zat yang dinyatakan dalam tabel di atas merupakan kerapatan zat pada suhu 0° C dan tekanan 1atm (atmosfir alias atm = satuan tekanan)

Berat Jenis

Berat jenis merupakan perbandingan kerapatan suatu zat terhadap kerapatan air. Berat jenis suatu zat dapat diperoleh dengan membagi kerapatannya dengan 10^3 kg/m^3 (kerapatan air). Berat jenis tidak memiliki dimensi.

Apabila kerapatan suatu benda lebih kecil dari kerapatan air, maka benda akan terapung. Berat jenis benda yang terapung lebih kecil dari 1. Sebaliknya jika kerapatan suatu benda lebih besar dari kerapatan air, maka berat jenisnya lebih besar dari 1. untuk kasus ini benda tersebut akan tenggelam.

Tekanan Dalam Fluida

Pernahkah dirimu meminum es teh atau es sirup ? wah, jangankan es teh, semua minuman botol dan minuman kaleng pernah disikat 😊 saking kehausan, botol dan kalengnya juga dijilat... hehehe.. pss.. maksud gurumuda, pernahkah dirimu meminum minuman menggunakan pipet alias penyedot ? kalau belum, segera meluncur ke warung atau toko terdekat dan bilang saja pada pelayan toko atau warung makan : “pak/bu.. boleh pinjam pipet sebentar ?...” Jangan lupa bawa uang receh untuk membeli seandainya permintaan anda di tolak. Setelah ada pipet, silahkan pergi ke ruang makan, ambil segelas air bening dan lakukan percobaan kecil-kecilan berikut ini... biar lebih keren, kali anda minum air putih (atau air bening ?) menggunakan pipet alias penyedot.. Nah, air putih kini terasa lebih nikmat. Setelah puas minum, sekarang coba anda masukan pipet tadi ke dalam gelas yang berisi air, lalu angkat kembali pipet tersebut. Apa yang anda amati ? *biasa saja tuh..* 😊 Oke.. sekarang, silahkan masukan pipet sekali lagi ke dalam gelas yang berisi air. Setelah itu, tutup salah satu ujung pipet (ujung pipet yang berada di luar gelas) menggunakan jari telunjuk anda. Nah, coba dirimu angkat pipet itu sambil tetap menutup lubang pipet bagian atas. Sulap fisika dimulai... aneh bin ajaib. Air terperangkap dalam pipet ? kok bisa ya ? waduh... bagaimanakah saya menjelaskannya ? gampang.... Ingin tahu mengapa demikian ? mari kita pelajari pokok bahasan Tekanan dengan penuh semangat. Setelah mempelajari pokok bahasan tekanan, dirimu akan dengan mudah menjelaskannya. Selamat belajar ya 😊

Konsep Tekanan pada Fluida

Dalam ilmu fisika, Tekanan diartikan sebagai gaya per satuan luas, di mana arah gaya tegak lurus dengan luas permukaan. Secara matematis, tekanan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini :

$$p = \frac{F}{A}$$

p = tekanan, F = gaya dan A = luas permukaan. Satuan gaya (F) adalah Newton (N), satuan luas adalah meter persegi (m²). Karena tekanan adalah gaya per satuan luas maka satuan tekanan adalah N/m². Nama lain dari N/m² adalah pascal (Pa). Pascal dipakai sebagai satuan Tekanan untuk menghormati om Blaise Pascal. Kita akan berkenalan lebih dalam dengan om Pascal pada pokok bahasan **Prinsip Pascal**.

Ketika kita membahas Fluida, konsep Tekanan menjadi sangat penting. Ketika fluida berada dalam keadaan tenang, fluida memberikan gaya yang tegak lurus ke seluruh permukaan kontakannya. Misalnya kita tinjau air yang berada di dalam gelas; setiap bagian air tersebut memberikan gaya dengan arah tegak lurus terhadap dinding gelas. jadi setiap bagian air memberikan gaya tegak lurus terhadap setiap satuan luas dari wadah yang ditempatinya, dalam hal ini gelas. Demikian juga air dalam bak mandi atau Air kolam renang. Ini merupakan salah satu sifat penting dari fluida statis alias fluida yang sedang diam. Gaya per satuan luas ini dikenal dengan istilah tekanan.

Mengapa pada fluida diam arah gaya selalu tegak lurus permukaan ? masih ingatkah dirimu dengan eyang Newton ? nah, Hukum III Newton yang pernah kita pelajari mengatakan bahwa jika ada gaya aksi

maka akan ada gaya reaksi yang besarnya sama tetapi berlawanan arah. Ketika fluida memberikan gaya aksi terhadap permukaan, di mana arah gaya tidak tegak lurus, maka permukaan akan memberikan gaya reaksi yang arahnya juga tidak tegak lurus. Hal ini akan menyebabkan fluida mengalir. Tapi kenyataannya fluida tetap diam. Jadi kesimpulannya, pada fluida diam, arah gaya selalu tegak lurus permukaan wadah yang ditempatinya.

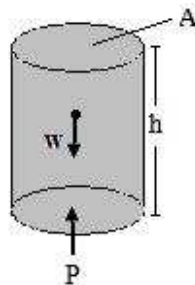
Sifat penting lain dari fluida diam adalah fluida selalu memberikan tekanan ke semua arah. *Masa sich ?* Untuk lebih memahami penjelasan ini, silahkan masukan sebuah benda yang bisa melayang ke dalam gelas atau penampung (ember dkk) yang bersisi air. Jika air sangat tenang, maka benda yang anda masukan tadi tidak bergerak karena pada seluruh permukaan benda tersebut bekerja tekanan yang sama besar. Jika tekanan air tidak sama besar maka akan ada gaya total, yang akan menyebabkan benda bergerak (ingat hukum II Newton)

Pengaruh kedalaman terhadap Tekanan

Pada penjelasan di atas, gurumuda sudah menjelaskan kepada dirimu tentang dua sifat fluida statis (fluida diam), yakni memberikan tekanan ke segala arah dan gaya yang disebabkan oleh tekanan fluida selalu bekerja tegak lurus terhadap permukaan benda yang bersentuhan dengan fluida tersebut. Ilustrasi yang kita gunakan adalah zat cair (air). Nah, bagaimana pengaruh kedalaman (atau ketinggian) terhadap tekanan ? apakah tekanan air laut pada kedalaman 10 meter sama dengan tekanan air laut pada kedalaman 100 meter, misalnya ?

Semua penyelam akan setuju jika gurumuda mengatakan bahwa tekanan di danau atau di lautan akan bertambah jika kedalamannya bertambah. Silahkan menyelam dalam air kolam atau air sumur... hehe.. lebih keren dirimu pernah mandi air laut dan bahkan pernah menyelam ke bagian laut yang dalam. Semakin dalam menyelam, perbedaan tekanan akan membuat telinga kita sakit. Gurumuda pernah mencobanya di kampoeng. *Kok bisa ?* Agar dirimu lebih memahami penjelasan gurumuda, mari kita tinjau tekanan air pada sebuah wadah sebagaimana tampak pada gambar. Tinggi kolom cairan adalah h dan luas penampangnya A . Bagaimana tekanan air di dasar wadah ?

Keterangan : w adalah berat air, h = ketinggian kolom air dalam wadah yang berbentuk silinder, A = luas permukaan dan P adalah tekanan.



Massa kolom zat cair adalah :

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = \rho h A$$

Berat kolom zat cair adalah :

$$w = mg = \rho h A g$$

Keterangan :

w = gaya berat

ρ = massa jenis

m = massa

g = percepatan gravitasi

V = hA = volume kolom zat cair (h = tinggi, A = luas permukaan)

Jika kita masukan ke dalam persamaan Tekanan, maka akan diperoleh :

$$p = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{\rho V g}{A} = \frac{\rho h A g}{A}$$

$$p = \rho g h \rightarrow \text{Persamaan 1 (wadah tertutup)}$$

$$p = p_a + \rho g h \rightarrow \text{Persamaan 2 (wadah terbuka)}$$

Keterangan :

p_a = Tekanan atmosfer

$\rho g h$ = Tekanan hidrostatis

Pada gambar di atas tidak digambarkan p_a , tapi dalam kenyataannya, bila wadah yang berisi air terbuka maka pada permukaan air bekerja juga tekanan atmosfer yang arahnya ke bawah. Tergantung permukaan wadah terbuka ke mana. Jika permukaan wadah terbuka ke atas seperti pada gambar di atas, maka arah tekanan atmosfer adalah ke bawah. Mengenai tekanan atmosfer selengkapnya bisa dibaca pada penjelasan selanjutnya. Tuh di bawah...

Berdasarkan persamaan di atas, tampak bahwa tekanan berbanding lurus dengan massa jenis dan kedalaman zat cair (*percepatan gravitasi bernilai tetap*). Jika kedalaman zat cair makin bertambah, maka tekanan juga makin besar. Ingat bahwa cairan hampir tidak termampatkan akibat adanya berat cairan di

atasnya, sehingga massa jenis cairan bernilai konstan di setiap permukaan. Jika perbedaan ketinggian sangat besar (untuk laut yang sangat dalam), massa jenis sedikit berbeda. Tapi jika perbedaan ketinggian tidak terlalu besar, pada dasarnya massa jenis zat cair sama (atau perbedaannya sangat kecil sehingga diabaikan).

Kita juga bisa menggunakan persamaan di atas untuk menghitung perbedaan tekanan pada setiap kedalaman yang berbeda. Kita oprek lagi persamaan di atas menjadi :

$$\Delta p = \rho g \Delta h$$

Keterangan :

Δp = perbedaan tekanan

Δh = perbedaan ketinggian

Tekanan Atmosfir (Tekanan Udara)

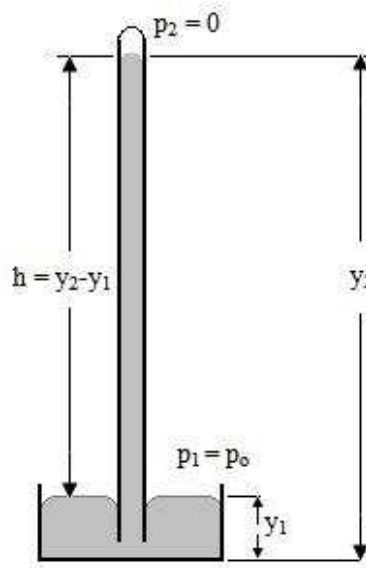
Sadar atau tidak setiap hari kita selalu “diselimuti” oleh udara. Ketika kita menyelam ke dalam air, semua bagian tubuh kita diselubungi oleh air. Semakin dalam kita menyelam, semakin besar tekanan yang kita rasakan. Nah, sebenarnya setiap hari kita juga diselubungi oleh atmosfer yang selalu menekan seluruh bagian tubuh kita seperti ketika kita berada di dalam air. Seperti pada air laut, permukaan bumi bisa kita ibaratkan dengan “dasar laut” atmosfer. Jika benar atmosfer juga menekan seluruh bagian tubuh kita setiap saat, mengapa kita tidak merasakannya, sebagaimana jika kita berada di dasar laut ? jawabannya adalah karena sel-sel tubuh kita mempertahankan tekanan dalam yang besarnya hampir sama dengan tekanan luar. Hal ini yang membuat kita tidak merasakan efek perbedaan tekanan tersebut.

Pada pembahasan sebelumnya, telah dijelaskan bahwa kedalaman zat cair mempengaruhi besarnya tekanan zat cair tersebut. Semakin dalam lautan, semakin besar tekanan air laut pada kedalaman tertentu. Bagaimana dengan atmosfer alias udara ?

Sebagaimana setiap fluida, tekanan atmosfer bumi juga berubah terhadap kedalaman (atau ketinggian). Tetapi tekanan atmosfer bumi agak berbeda dengan zat cair. Perubahan massa jenis zat cair sangat kecil untuk perbedaan kedalaman yang tidak sangat besar, sehingga massa jenis zat cair dianggap sama. Hal ini berbeda dengan massa jenis atmosfer bumi. Massa jenis atmosfer bumi bervariasi cukup besar terhadap ketinggian. Massa jenis udara di setiap ketinggian berbeda-beda sehingga kita tidak bisa menghitung tekanan atmosfer menggunakan persamaan yang telah diturunkan di atas. Selain itu tidak ada batas atmosfer yang jelas dari mana h dapat diukur. Tekanan atmosfer juga bervariasi terhadap cuaca. Jika demikian, bagaimana kita mengetahui besarnya tekanan udara ? untuk mengetahui tekanan atmosfer, kita melakukan pengukuran.

Pengukuran Tekanan

Pernahkah dirimu mendengar nama paman Torricelli ? kalau belum, mari kita berkenalan dengan paman Torricelli. Paman Evangelista Torricelli (1608-1647), murid eyang Galileo, membuat suatu metode alias cara untuk mengukur tekanan atmosfer pada tahun 1643 menggunakan barometer air raksa hasil karyanya. Barometer tersebut berupa tabung kaca yang panjang, di mana dalam tabung tersebut diisi air raksa. Nah, tabung kaca yang berisi air raksa tersebut dibalik dalam sebuah piring yang juga telah diisi air raksa (*lihat gambar di bawah ya*)



Catatan : dirimu jangan bingung mengapa permukaan air raksa melengkung. Nanti akan gurumuda jelaskan pada pokok bahasan **tegangan permukaan**

Ketika tabung kaca yang berisi air raksa dibalik maka pada bagian ujung bawah tabung (pada gambar terletak di bagian atas) tidak terisi air raksa, isinya cuma uap air raksa yang tekanannya sangat kecil sehingga diabaikan ($p_2 = 0$). Pada permukaan air raksa yang berada di dalam piring terdapat tekanan atmosfer yang arahnya ke bawah (atmosfir menekan air raksa yang berada di piring). Tekanan atmosfer tersebut menyanggah kolom air raksa yang berada dalam pipa kaca. Pada gambar, tekanan atmosfer dilambangkan dengan p_0 . Besarnya tekanan atmosfer dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$p_0 = \rho gh$$

Berdasarkan hasil pengukuran, rata-rata tekanan atmosfer pada permukaan laut adalah $1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Besarnya tekanan atmosfer pada permukaan laut ini digunakan untuk mendefinisikan satuan tekanan lain, yakni **atm** (atmosfir). Jadi $1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 101,3 \text{ kPa}$ (kPa = kilo pascal). Satuan tekanan lain adalah **bar** (*sering digunakan pada meteorologi*). $1 \text{ bar} = 1,00 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 100 \text{ kPa}$.

Bagaimana nilai tekanan atmosfer di atas diperoleh ?

Visit <http://www.gurumuda.com> – Gudang Ilmu Fisika Gratis

Pengukurannya menggunakan prinsip yang telah ditunjukkan oleh paman torricelli di atas. Tinggi kolom air raksa yang digunakan adalah 76 cm (tekanan atmosfer hanya dapat menahan kolom air raksa yang tingginya hanya mencapai 76,0 cm), di mana suhu air raksa yang digunakan tepat 0° C dan besarnya percepatan gravitasi 9,8 m/s². massa jenis air raksa pada kondisi ini adalah 13,6 x 10³ kg/m³. Sekarang kita bisa menghitung besarnya tekanan atmosfer :

$$p_o = \rho gh$$

$$p_o = (13,6 \times 10^3 \text{ kg / m}^3)(9,8 \text{ m / s}^2)(76 \text{ cm})$$

$$p_o = (13,6 \times 10^3 \text{ kg / m}^3)(9,8 \text{ m / s}^2)(76 \times 10^{-2} \text{ m})$$

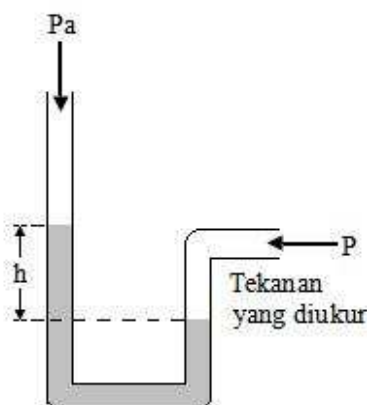
$$p_o = 101,3 \times 10^3 \text{ N / m}^2$$

$$p_o = 1,013 \times 10^5 \text{ N / m}^2$$

$$p_o = 1 \text{ atm}$$

Alat pengukur tekanan

Terdapat banyak alat yang digunakan untuk mengukur tekanan, di antaranya adalah *manometer* tabung terbuka (lihat gambar di bawah).



Pada manometer tabung terbuka, di mana tabung berbentuk U, sebagian tabung diisi dengan zat cair (air raksa atau air). Tekanan yang terukur dihubungkan dengan perbedaan dua ketinggian zat cair yang dimasukkan ke dalam tabung. Besar tekanan dihitung menggunakan persamaan :

$$p = p_a + \rho gh$$

Keterangan :

p_a = Tekanan atmosfer

ρgh = Tekanan terukur

ρ = massa jenis zat cair

Pada umumnya bukan hasil kali ρgh yang dihitung melainkan ketinggian zat cair (h) karena tekanan kadang dinyatakan dalam satuan milimeter air raksa (mmhg) atau milimeter air (mm-H₂O). Nama lain mmhg adalah **torr** (mengenang jasa paman Evangelista **Torricelli**).

Selain manometer, terdapat juga pengukur lain yakni barometer aneroid, baik mekanis maupun elektrik, termasuk alat pengukur tekanan ban dkk. Alat yang digunakan oleh paman torricelli untuk mengukur tekanan atmosfer disebut juga barometer air raksa, di mana tabung kaca diisi penuh dengan air raksa kemudian dibalik ke dalam piring yang juga berisi air raksa.

Tekanan Terukur, Tekanan gauge dan Tekanan absolut

Dirimu punya mobil atau sepeda motor/sepeda-kah ? jika punya bersyukurlah. Jika belum punya, silahkan bermain ke bengkel terdekat. Amati om-om yang bekerja di bengkel... wah, jangan pelototin om-nya dong, tapi perhatikan kegiatan mereka di bengkel, khususnya ketika mengisi udara dalam ban kendaraan (mobil atau sepeda motor). Biasanya mereka menggunakan alat ukur tekanan udara. Hal ini membantu agar tekanan udara ban tidak kurang/melebihi batas yang ditentukan. Nah, ketika om-om tersebut mengisi udara dalam ban, yang mereka ukur adalah tekanan udara dalam ban saja. Tekanan atmosfer tidak diperhitungkan. Bukan hanya ketika mengukur tekanan udara dalam ban, bola sepak dkk tetapi juga sebagian besar pengukuran tekanan lainnya, tekanan atmosfer tidak diukur. Tekanan yang diukur tersebut dinamakan **tekanan terukur**. Lalu apa bedanya dengan tekanan absolut ?

Tekanan absolut = tekanan atmosfer + tekanan terukur. Jadi untuk mendapatkan tekanan absolut, kita menambahkan tekanan terukur dengan tekanan atmosfer. Dengan kata lain, tekanan absolut = tekanan total. Secara matematis bisa ditulis :

$$p = p_a + p_{ukur}$$

misalnya jika tekanan ban yang kita ukur = 100 kPa, maka tekanan absolut adalah :

$$p = p_a + p_{ukur}$$

$$p = 101 \text{ kPa} + 100 \text{ kPa}$$

$$p = 201 \text{ kPa}$$

Besarnya tekanan absolut = 201 kPa.

Terus $p_a = 101$ kPa (101 kilo Pascal) datangnya dari mana ? sudah gurumuda jelaskan di atas. Baca kembali kalau dirimu sudah melupakannya...

Ada satu lagi istilah, yakni **tekanan gauge** alias **tekanan tolok**. Tekanan gauge merupakan kelebihan tekanan di atas tekanan atmosfer. Misalnya kita tinjau tekanan ban sepeda motor. Ketika ban sepeda motor kempes, tekanan dalam ban = tekanan atmosfer (*Tekanan atmosfer = $1,01 \times 10^5$ Pa = 101 kPa*). Jika dirimu ingin menggunakan ban tersebut sehingga sepeda motor yang "ditunggangi" bisa kebut-kebutan di jalan, maka dirimu harus mengisi ban tersebut dengan udara. Ketika ban diisi udara, tekanan ban pasti bertambah. Nah, ketika tekanan ban menjadi lebih besar dari 101 kPa, maka kelebihan tekanan tersebut disebut juga tekanan gauge. Begitu....

Contoh soal 1 :

Sebuah kapal selam menyelam hingga kedalaman 200 meter. Berapakah tekanan yang dialami kapal selam tersebut ? anggap saja $g = 10$ m/s²

Panduan jawaban :

$$h = 200 \text{ m}$$

$$\text{Massa jenis air laut } (\rho) = 1,03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 1030 \text{ kg/m}^3 \text{ (lihat tabel massa jenis)}$$

$$\text{Tekanan atmosfer } (p_a) = 1 \text{ atm} = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \times 10^5 \text{ (Kg/m/s}^2\text{)/m}^2 = 1 \times 10^5 \text{ Kg/ms}^2$$

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

$$p = p_a + \rho gh$$

$$p = 1 \times 10^5 \text{ Kg / ms}^2 + (1030 \text{ Kg / m}^3)(10 \text{ m / s}^2)(200 \text{ m})$$

$$p = 1 \times 10^5 \text{ Kg / ms}^2 + 2060000 \text{ Kg / ms}^2$$

$$p = 1 \times 10^5 \text{ Kg / ms}^2 + 20,6 \times 10^5 \text{ Kg / ms}^2$$

$$p = 21,6 \times 10^5 \text{ Kg / ms}^2$$

$$p = 21,6 \times 10^5 \text{ N / m}^2$$

$$p = 21,6 \times 10^5 \text{ Pa (Pa = Pascal)}$$

Visit <http://www.gurumuda.com> – Gudang Ilmu Fisika Gratis

Catatan :

Pertama, air laut bisa dianggap seperti wadah terbuka, sehingga tekanan atmosfer dimasukkan dalam perhitungan.

Kedua, perhatikan satuannya... pahami perlahan-lahan

Contoh soal 2 :

Sebuah penampung air setinggi 10 meter penuh terisi air. Jika permukaan penampung air tersebut tertutup, berapakah tekanan air pada dasar wadah ? anggap saja $g = 10 \text{ m/s}^2$

Panduan jawaban :

$$h = 10 \text{ m}$$

$$\text{Massa jenis air } (\rho) = 1,00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (lihat tabel massa jenis)}$$

$$\text{Tekanan atmosfer (pa)} = 1 \text{ atm} = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \times 10^5 \text{ (Kg/m/s}^2\text{)}/\text{m}^2 = 1 \times 10^5 \text{ Kg/ms}^2$$

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

$$p = \rho gh$$

$$p = (1000 \text{ Kg / m}^3)(10 \text{ m / s}^2)(10 \text{ m})$$

$$p = 2000000 \text{ Kg / ms}^2$$

$$p = 20 \times 10^5 \text{ Kg / ms}^2$$

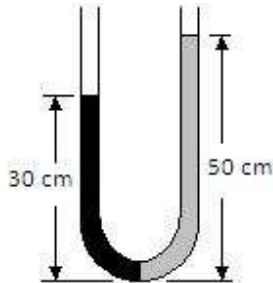
$$p = 20 \times 10^5 \text{ N / m}^2$$

$$p = 20 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Wadah tertutup sehingga tekanan atmosfer tidak dimasukkan dalam perhitungan...

Contoh soal 3 :

Tataplah gambar di bawah dengan penuh kelembutan...



Ketinggian kolom air (kanan) = 50 cm, sedangkan ketinggian kolom zat cair lain (kiri) = 30 cm. Berapakah massa jenis alias kerapatan zat cair lain ?

Panduan jawaban :

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

$$h \text{ air } (h_1) = 50 \text{ cm}$$

$$\text{massa jenis air } (\rho_1) = 1,00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$h \text{ cairan lain } (h_2) = 30 \text{ cm}$$

$$\text{massa jenis cairan lain } (\rho_2) = ?$$

$$p_a + \rho_1 g h_1 = p_a + \rho_2 g h_2$$

Tekanan atmosfer (Pa) dan percepatan gravitasi (g) sama, sehingga dlenyapkan

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$$

$$\rho_2 = \frac{h_1}{h_2} (\rho_1)$$

$$\rho_2 = \frac{50 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} (1000 \text{ Kg} / \text{ m}^3)$$

$$\rho_2 = 1666,7 \text{ Kg} / \text{ m}^3$$

Berikut ini seperangkat peralatan perang dan amunisi yang mungkin dibutuhkan :

Volume

1 liter (L) = 1000 mililiter (mL) = 1000 centimeter kubik (cm^3)

1 liter (L) = 1 desimeter kubik (dm^3) = $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

Tekanan

$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$

$1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa} = 1,013 \times 10^2 \text{ kPa} = 101,3 \text{ kPa}$ (biasanya dipakai 101 kPa)

Pa = pascal

atm = atmosfir

Prinsip Pascal

Pernahkah jalan-jalan ke bengkel ? Jangan jauh-jauh ke bengkel, mungkin dirimu pernah melihat mobil mogok di jalan karena *ban dalam* mobil tersebut kempis alias pecah ?... nah, ketika roda mobil mengalami kerusakan maka om sopir atau kondektur harus menggantinya dengan roda yang lain. Atau kadang mobil harus digiring ke bengkel, soalnya yang nyetir pake dasi. Agar roda mobil yang rusak bisa diganti maka digunakan bantuan dongkrak hidrolis. Tahukah dirimu bagaimana prinsip kerja dongkrak hidrolis ? mobil yang begitu berat bisa diangkat dengan mudah. Aneh bin ajaib. Hehe... semuanya karena fisika 😊. Selain itu, ketika dirimu menumpang mobil atau angkot, coba amati bagaimana kendaraan bisa direm. Kalau pingin iseng, silahkan bertanya kepada om sopir. Om, kok mobilnya bisa berhenti ya ? prinsip kerja rem bagaimana-kah ? mudah2an dirimu tidak diomelin oleh om sopir.

Ok, kembali ke laptop. Bagaimana prinsip kerja dongkrak/ lift hidrolis yang biasa digunakan untuk mengangkat mobil ? bagaimana pula prinsip kerja rem hidrolis ketika digunakan untuk mengurangi laju mobil ? mudah-mudahan dirimu kebingungan dan tidak mengetahui jawabannya... hehe... ingin tahu mengapa ? selamat belajar bersama om Pascal. Semoga setelah mempelajari pokok bahasan ini, dirimu semakin dekat di hati om Pascal serta om sopir dkk...

Prinsip Pascal

Sebagaimana telah kita pelajari pada pokok bahasan *Tekanan pada Fluida*, setiap fluida selalu memberikan tekanan pada semua benda yang bersentuhan dengannya. Air yang kita masukan ke dalam gelas akan memberikan tekanan pada dinding gelas. Demikian juga apabila kita mandi dalam kolam renang atau air laut, air kolam atau air laut tersebut juga memberikan tekanan pada seluruh tubuh kita. Nah, tekanan total air pada kedalaman tertentu, misalnya tekanan air laut pada kedalaman 200 meter merupakan jumlah tekanan atmosfer yang menekan permukaan air laut dan “tekanan terukur” pada kedalaman 200 meter. Jadi selain lapisan bagian atas air menekan lapisan air yang ada di bawahnya, terdapat juga atmosfer alias udara yang menekan permukaan air laut tersebut.

Tekanan yang ditimbulkan oleh lapisan fluida yang ada di atas bisa kita katakan “tekanan dalam” karena tekanan itu sendiri berasal dari dalam fluida sedangkan tekanan atmosfer bisa kita katakan “tekanan luar” karena atmosfer terpisah dari fluida. Tekanan atmosfer yang dalam kasus ini merupakan tekanan luar, bekerja pada seluruh permukaan fluida dan tekanan tersebut disalurkan pada seluruh bagian fluida. Karenanya tekanan total fluida pada kedalaman tertentu selain disebabkan oleh tekanan lapisan fluida pada bagian atas, juga dipengaruhi oleh tekanan luar (*untuk kasus di atas adalah tekanan atmosfer*).

Untuk semakin memahami penjelasan ini, mari kita tinjau zat cair yang berada dalam suatu wadah. Tekanan zat cair pada dasar wadah tentu saja lebih besar dari tekanan zat cair pada bagian di atasnya (ingat kembali pembahasan mengenai *Tekanan Pada Fluida*). Semakin ke bawah, semakin besar tekanan zat cair tersebut, sebaliknya semakin mendekati permukaan atas wadah, semakin kecil tekanan zat cair. Besarnya tekanan sebanding dengan pgh ($p = \text{massa jenis}$, $g = \text{percepatan gravitasi}$ dan $h = \text{ketinggian/kedalaman}$). Pada setiap titik pada kedalaman yang sama, besarnya tekanan sama. Hal ini

berlaku untuk semua zat cair dalam wadah apapun dan tidak bergantung pada bentuk wadah tersebut. Apabila kita tambahkan tekanan luar, misalnya dengan menekan permukaan zat cair tersebut, pertambahan tekanan dalam zat cair adalah sama di mana-mana. Jadi apabila diberikan tekanan luar, setiap bagian zat cair mendapat "jatah" tekanan yang sama. Karenanya besar tekanan selalu sama di setiap titik pada kedalaman yang sama. Ini merupakan Prinsip Pascal, dicetuskan dan dinamakan sesuai dengan nama pencetusnya, Om Blaise Pascal (1623-1662). Om Pascal merupakan filsuf dan ilmuwan Perancis, bukan Indonesia. Kapan neh dari Indonesia, dirimu-kah ? 😊

Prinsip Pascal menyatakan bahwa tekanan yang diberikan pada cairan dalam suatu tempat tertutup akan diteruskan sama besar ke setiap bagian fluida dan dinding wadah

Secara matematis bisa ditulis sebagai berikut :

p masuk = p keluar

$$\frac{F}{A} \text{ masuk} = \frac{F}{A} \text{ keluar}$$

Keterangan :

p = Tekanan

F = Gaya

A = Luas permukaan

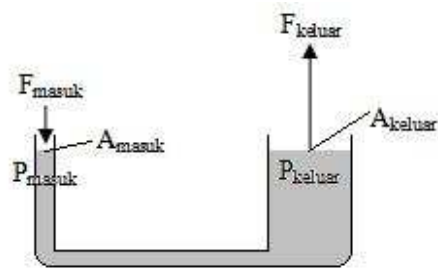
Kata *masuk* mewakili tekanan yang diberikan, sedangkan kata *keluar* mewakili tekanan yang diteruskan.

Penerapan Prinsip Pascal

Berpedoman pada prinsip Om Pascal ini, manusia telah menghasilkan beberapa alat, baik yang sederhana maupun canggih untuk membantu mempermudah kehidupan. Beberapa di antaranya adalah Dongkrak Hidrolik, Lift Hidrolik, Rem Hidrolik dkk...

Dongkrak alias Lift Hidrolik

Cara kerja dongkrak alias lift hidrolik ditunjukkan pada gambar di bawah.

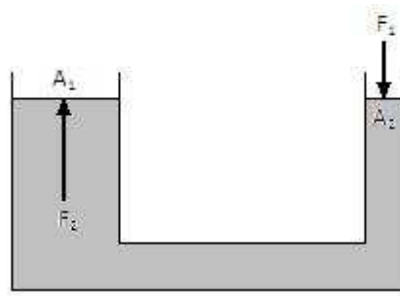


Silahkan amati gambar yang kusam ini dengan penuh semangat. Jangan dipelototin... hehe... Dongkrak hidrolik terdiri dari sebuah bejana yang memiliki dua permukaan. Pada kedua permukaan bejana terdapat penghisap (piston), di mana luas permukaan piston di sebelah kiri lebih kecil dari luas permukaan piston di sebelah kanan. Luas permukaan piston disesuaikan dengan luas permukaan bejana. Bejana diisi cairan, seperti pelumas (oli dkk).

Apabila piston yang luas permukaannya kecil ditekan ke bawah, maka setiap bagian cairan juga ikut tertekan. Besarnya tekanan yang diberikan oleh piston yang permukaannya kecil (gambar kiri) diteruskan ke seluruh bagian cairan. Akibatnya, cairan menekan piston yang luas permukaannya lebih besar (gambar kanan) hingga piston terdorong ke atas. Luas permukaan piston yang ditekan kecil, sehingga gaya yang diperlukan untuk menekan cairan juga kecil. Tapi karena tekanan (Tekanan = gaya / satuan luas) diteruskan seluruh bagian cairan, maka gaya yang kecil tadi berubah menjadi sangat besar ketika cairan menekan piston di sebelah kanan yang luas permukaannya besar. Jarang sekali orang memberikan gaya masuk pada piston yang luas permukaannya besar, karena tidak menguntungkan. Pada bagian atas piston yang luas permukaannya besar biasanya diletakan benda atau bagian benda yang mau diangkat (misalnya mobil dkk)

Dirimu jangan heran jika mobil yang massanya sangat besar dengan mudah diangkat hanya dengan menekan salah satu piston. Ingat bahwa luas permukaan piston sangat kecil sehingga gaya yang kita berikan juga kecil. Walaupun demikian gaya masukan yang kecil tersebut bisa berubah menjadi gaya keluaran yang sangat besar bila luas permukaan keluaran sangat besar. Jika dongkrak hidrolik dirancang untuk mengangkat mobil yang massanya sangat berat maka perancang perlu memperhatikan besar gaya berat mobil tersebut dan besarnya gaya keluaran yang dihasilkan oleh dongkrak. Semakin besar gaya berat mobil yang diangkat maka semakin besar luas permukaan keluaran dari dongkrak hidrolik. Minimal gaya keluaran yang dihasilkan oleh dongkrak hidrolik lebih besar/sama dengan gaya berat benda yang diangkat.

Contoh soal 1 :



$$A_1 \text{ (penampang kecil)} = 100 \text{ cm}^2$$

$$A_2 \text{ (penampang besar)} = 250 \text{ cm}^2$$

$$F_1 \text{ (F masuk)} = 200 \text{ N}$$

$$F_2 = ?$$

Panduan jawaban :

Guampang sekali....

p masuk = p keluar

$$\frac{F_1}{A_1} \text{ masuk} = \frac{F_2}{A_2} \text{ keluar}$$

$$\frac{200N}{100\text{cm}^2} = \frac{F_2}{250\text{cm}^2}$$

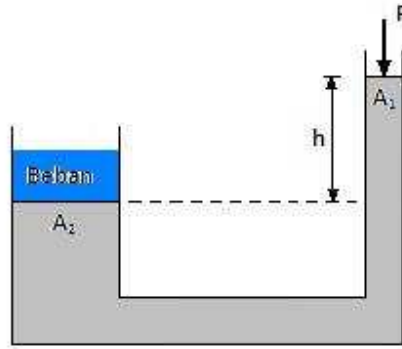
$$F_2 = \frac{(200N)(250\text{cm}^2)}{100\text{cm}^2}$$

$$F_2 = (200N)(2,5)$$

$$F_2 = 500N$$

Contoh soal 2 :

Cairan yang ada dalam bejana = oli



$$A_1 \text{ (penampang kecil)} = 100 \text{ cm}^2 = 100 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,01 \text{ m}^2$$

$$A_2 \text{ (penampang besar)} = 250 \text{ cm}^2 = 250 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,025 \text{ m}^2$$

$$\text{Massa beban} = 200 \text{ kg}$$

$$\text{Massa jenis oli } (\rho) = 780 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Ketinggian kolom oli (h)} = 2 \text{ meter}$$

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

Berapakah gaya masuk minimum (F) agar beban berada dalam keadaan seimbang (beban tidak bergerak) ?

Tekanan pada penampang besar = Tekanan pada penampang kecil

$$\frac{F}{A} \text{ penampang besar} = \frac{F}{A} \text{ penampang kecil} + \rho gh \text{ (tekanan oli)}$$

$$\frac{(200 \text{ Kg})(10 \text{ m/s}^2)}{0,025 \text{ m}^2} = \frac{F_2}{0,01 \text{ m}^2} + (780 \text{ Kg/m}^3)(10 \text{ m/s}^2)(2 \text{ m})$$

$$\frac{2000 \text{ Kg m/s}^2}{0,025 \text{ m}^2} = \frac{F_2}{0,01 \text{ m}^2} + 15.600 \text{ Kg/ms}^2$$

$$80.000 \text{ Kg/ms}^2 = \frac{F_2}{0,01\text{m}^2} + 15.600 \text{ Kg/ms}^2$$

$$(80.000 \text{ Kg/ms}^2) - (15.600 \text{ Kg/ms}^2) = \frac{F_2}{0,01\text{m}^2}$$

$$64.400 \text{ Kg/ms}^2 = \frac{F_2}{0,01\text{m}^2}$$

$$F_2 = (64.400 \text{ Kg/ms}^2)(0,01 \text{ m}^2)$$

$$F_2 = 644 \text{ Kgm/s}^2$$

$$F_2 = 644 \text{ N}$$

Prinsip Archimedes

Pernahkah melihat kapal laut ? jika belum pernah melihat kapal laut secara langsung, mudah-mudahan dirimu pernah melihat kapal laut melalui televisi. Coba bayangkan. Kapal yang massanya sangat besar tidak tenggelam, sedangkan sebuah batu yang ukurannya kecil dan terasa ringan bisa tenggelam. Aneh khan ? Mengapa bisa demikian ?

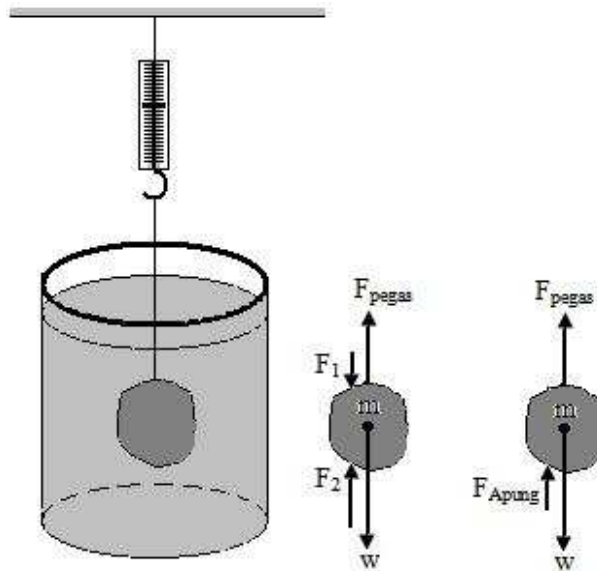
Jawabannya sangat mudah jika dirimu memahami konsep pengapungan dan prinsip Archimedes. Pada kesempatan ini gurumuda ingin membimbing dirimu untuk memahami apa sesungguhnya prinsip archimedes. Selamat belajar ya... Semoga setelah mempelajari pokok bahasan ini dirimu dengan mudah menjelaskan semua persoalan berkaitan dengan prinsip archimedes, termasuk alasan mengapa kapal yang massanya besar tidak tenggelam.

Gaya Apung

Sebelum membahas prinsip Archimedes lebih jauh, gurumuda ingin mengajak dirimu untuk melakukan percobaan kecil-kecilan berikut ini. Silahkan cari sebuah batu yang ukurannya agak besar, lalu angkat batu tersebut. Apakah batu tersebut terasa berat ? nah, sekarang coba masukan batu ke dalam air (*masukan batu ke dalam air laut atau air kolam atau air yang ada dalam sebuah wadah, misalnya ember*). Kali ini batu diangkat dalam air. Bagaimana berat batu tersebut ? apakah batu terasa lebih ringan ketika diangkat dalam air atau ketika tidak diangkat dalam air ? agar bisa menjawab pertanyaan gurumuda dengan benar, sebaiknya dirimu melakukan percobaan tersebut terlebih dahulu.

Untuk memperoleh hasil percobaan yang lebih akurat, dirimu bisa melakukan percobaan dengan menimbang batu menggunakan timbangan pegas (*seandainya ada timbangan pegas di sekolah-mu*). Timbanglah batu di udara terlebih dahulu. Catat berat batu tersebut. Selanjutnya, masukan batu ke dalam sebuah wadah yang berisi air, lalu timbang lagi batu tersebut. Bandingkan manakah berat batu yang lebih besar, ketika batu ditimbang di dalam air atau ketika batu ditimbang di udara ?

Ketika dirimu menimbang batu di dalam air, berat batu yang terukur pada timbangan pegas menjadi lebih kecil dibandingkan dengan ketika dirimu menimbang batu di udara (tidak di dalam air). Massa batu yang terukur pada timbangan lebih kecil karena ada gaya apung yang menekan batu ke atas. Efek yang sama akan dirasakan ketika kita mengangkat benda apapun dalam air. Batu atau benda apapun akan terasa lebih ringan jika diangkat dalam air. Hal ini bukan berarti bahwa sebagian batu atau benda yang diangkat hilang sehingga berat batu menjadi lebih kecil, tetapi karena adanya gaya apung. Arah gaya apung ke atas, alias searah dengan gaya angkat yang kita berikan pada batu tersebut sehingga batu atau benda apapun yang diangkat di dalam air terasa lebih ringan. *Sampai di sini, dirimu sudah paham-kah ?*



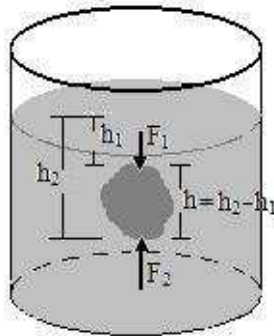
Keterangan gambar :

F_{pegas} = gaya pegas, w = gaya berat batu, F_1 = gaya yang diberikan fluida pada bagian atas batu, F_2 = gaya yang diberikan fluida pada bagian bawah batu, F_{apung} = gaya apung.

F_{apung} merupakan gaya total yang diberikan fluida pada batu ($F_{\text{apung}} = F_2 - F_1$). Arah gaya apung (F_{apung}) ke atas, karena gaya yang diberikan fluida pada bagian bawah batu (F_2) lebih besar daripada gaya yang diberikan fluida pada bagian atas batu (F_1). Hal ini dikarenakan tekanan fluida pada bagian bawah lebih besar daripada tekanan fluida pada bagian atas batu.

Prinsip Archimedes

Dalam kehidupan sehari-hari, kita akan menemukan bahwa benda yang dimasukkan ke dalam fluida seperti air misalnya, memiliki berat yang lebih kecil daripada ketika benda tidak berada di dalam fluida tersebut. Dirimu mungkin sulit mengangkat sebuah batu dari atas permukaan tanah tetapi batu yang sama dengan mudah diangkat dari dasar kolam. Hal ini disebabkan karena adanya gaya apung sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya. Gaya apung terjadi karena adanya perbedaan tekanan fluida pada kedalaman yang berbeda. Seperti yang telah gurumuda jelaskan pada pokok bahasan *Tekanan pada Fluida*, tekanan fluida bertambah terhadap kedalaman. Semakin dalam fluida (zat cair), semakin besar tekanan fluida tersebut. Ketika sebuah benda dimasukkan ke dalam fluida, maka akan terdapat perbedaan tekanan antara fluida pada bagian atas benda dan fluida pada bagian bawah benda. Fluida yang terletak pada bagian bawah benda memiliki tekanan yang lebih besar daripada fluida yang berada di bagian atas benda. (*perhatikan gambar di bawah*).



Pada gambar di atas, tampak sebuah benda melayang di dalam air. Fluida yang berada dibagian bawah benda memiliki tekanan yang lebih besar daripada fluida yang terletak pada bagian atas benda. Hal ini disebabkan karena fluida yang berada di bawah benda memiliki kedalaman yang lebih besar daripada fluida yang berada di atas benda ($h_2 > h_1$).

Besarnya tekanan fluida pada kedalaman h_2 adalah :

$$p_2 = \frac{F_2}{A} \rightarrow F_2 = p_2 A = \rho g h_2 A$$

Besarnya tekanan fluida pada kedalaman h_1 adalah :

$$p_1 = \frac{F_1}{A} \rightarrow F_1 = p_1 A = \rho g h_1 A$$

F_2 = gaya yang diberikan oleh fluida pada bagian bawah benda, F_1 = gaya yang diberikan oleh fluida pada bagian atas benda, A = luas permukaan benda

Selisih antara F_2 dan F_1 merupakan gaya total yang diberikan oleh fluida pada benda, yang kita kenal dengan istilah gaya apung. Besarnya gaya apung adalah :

$$F \text{ apung} = F_2 - F_1$$

$$F \text{ apung} = (\rho g h_2 A) - (\rho g h_1 A)$$

$$F \text{ apung} = \rho g A (h_2 - h_1)$$

$$F \text{ apung} = \rho_F g A h$$

$$F \text{ apung} = \rho_F g V$$

Keterangan :

ρ_F = massa jenis fluida

g = percepatan gravitasi

V = volume benda yang berada di dalam fluida

Karena

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

(ingat kembali persamaan massa jenis)

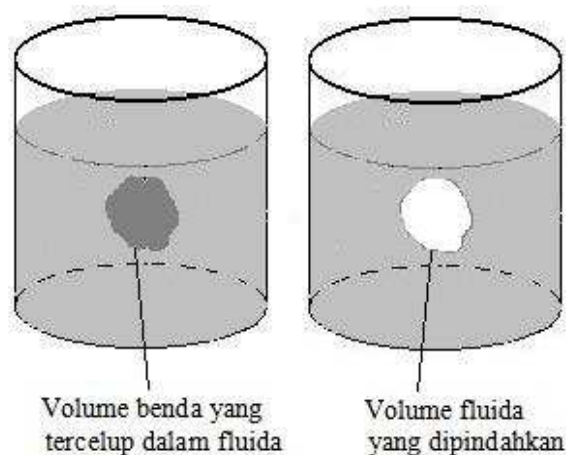
Maka persamaan yang menyatakan besarnya gaya apung (F_{apung}) di atas bisa kita tulis menjadi :

$$F_{\text{apung}} = \rho_F g V \rightarrow m = \rho V$$

$$F_{\text{apung}} = m_F g$$

$$F_{\text{apung}} = w_F$$

$m_F g = w_F$ = berat fluida yang memiliki volume yang sama dengan volume benda yang tercelup. Berdasarkan persamaan di atas, kita bisa mengatakan bahwa gaya apung pada benda sama dengan berat fluida yang dipindahkan. Ingat bahwa yang dimaksudkan dengan *fluida yang dipindahkan* di sini adalah **volume fluida yang sama dengan volume benda yang tercelup dalam fluida**. Pada gambar di atas, gurumuda menggunakan ilustrasi di mana semua bagian benda tercelup dalam fluida (air). Jika dinyatakan dalam gambar maka akan tampak sebagai berikut :



Apabila benda yang dimasukkan ke dalam fluida, terapung, di mana bagian benda yang tercelup hanya sebagian maka *volume fluida yang dipindahkan = volume bagian benda yang tercelup* dalam fluida tersebut. Tidak peduli apapun benda dan bagaimana bentuk benda tersebut, semuanya akan mengalami hal yang sama. Ini adalah buah karya eyang butut Archimedes (287-212 SM) yang saat ini diwariskan kepada kita dan lebih dikenal dengan julukan "**Prinsip Archimedes**". Prinsip Archimedes menyatakan bahwa :

Ketika sebuah benda tercelup seluruhnya atau sebagian di dalam zat cair, zat cair akan memberikan gaya ke atas (gaya apung) pada benda, di mana besarnya gaya ke atas (gaya apung) sama dengan berat zat cair yang dipindahkan.

Dirimu bisa membuktikan prinsip Archimedes dengan melakukan percobaan kecil-kecilan berikut. Masukkan air ke dalam sebuah wadah (ember dkk). Usahakan sampai meluap sehingga ember tersebut benar-benar penuh terisi air. Setelah itu, silahkan masukan sebuah benda ke dalam air. Setelah benda dimasukan ke dalam air, maka sebagian air akan tumpah. Volume air yang tumpah = volume benda yang tercelup dalam air tersebut. Jika seluruh bagian benda tercelup dalam air, maka volume air yang tumpah = volume benda tersebut. Tapi jika benda hanya tercelup sebagian, maka volume air yang tumpah = volume dari bagian benda yang tercelup dalam air. Besarnya **gaya apung** yang diberikan oleh air pada benda = **berat air yang tumpah** (*berat air yang tumpah = $w = m_{air}g = \text{massa jenis air} \times \text{volume air yang tumpah} \times \text{percepatan gravitasi}$*). **Volume air yang tumpah = volume benda yang tercelup dalam air**

Kisah Eyang Archimedes

Konon katanya, eyang butut Archimedes yang hidup antara tahun 287-212 SM ditugaskan oleh Raja Hieron II untuk menyelidiki apakah mahkota yang dibuat untuk Sang Raja terbuat dari emas murni atau tidak. Untuk mengetahui apakah mahkota tersebut terbuat dari emas murni atau mahkota tersebut mengandung logam lain, eyang butut Archimedes pada mulanya kebingungan. Persoalannya, bentuk mahkota itu tidak beraturan dan tidak mungkin dihancurkan dahulu agar bisa ditentukan apakah mahkota terbuat dari emas murni atau tidak. Ide brilian muncul ketika ia sedang mandi dan mungkin karena saking senangnya, eyang butut Archimedes ini langsung berlari dalam keadaan bugil sambil berteriak "eureka" yang artinya "saya telah menemukannya". Waduh, saking senangnya lupa pake handuk... hehe... ide brilian untuk menentukan apakah mahkota raja terbuat dari emas murni atau tidak adalah dengan terlebih dahulu menentukan Berat Jenis mahkota tersebut lalu membandingkannya dengan berat jenis emas. Jika mahkota terbuat dari emas murni, maka berat jenis mahkota = berat jenis emas.

Berat jenis suatu benda merupakan perbandingan antara berat benda tersebut di udara dengan berat air yang memiliki volume yang sama dengan volume benda. Secara matematis ditulis :

$$\text{BeratJenis} = \frac{\text{BeratBendaDiUdara}}{\text{BeratAirYangVolumenyaSamaDenganVolumeBenda}}$$

Nah, sekarang bagaimana menentukan berat air yang memiliki volume yang sama dengan volume benda ?

Menurut eyang butut Archimedes, berat air yang memiliki volume yang sama dengan volume benda = besarnya gaya apung ketika benda tenggelam (*seluruh bagian benda tercelup dalam air*). Hal ini sama saja dengan berat benda yang hilang ketika ditimbang dalam air. Dengan demikian :

$$\text{BeratJenis} = \frac{\text{BeratBendaDiUdara}}{\text{BeratBendaYangHilang}}$$

Untuk menentukan berat jenis mahkota, maka terlebih dahulu mahkota ditimbang di udara (*BeratMahkotaDiudara*). Selanjutnya mahkota dimasukan ke dalam air lalu ditimbang lagi untuk memperoleh *BeratMahkotaYangHilang*. Jadi :

$$\text{BeratJenisMahkota} = \frac{\text{BeratMahkotaDiUdara}}{\text{BeratMahkotaYangHilang}}$$

Setelah berat jenis mahkota diperoleh, maka selanjutnya dibandingkan dengan berat jenis emas. Berat jenis emas = 19,3. Jika berat jenis mahkota = berat jenis emas, maka mahkota tersebut terbuat dari emas murni. Tapi jika mahkota tidak terbuat dari emas murni, maka berat jenis mahkota tidak sama dengan berat jenis emas. Begitu....

Mengapa Kapal Tidak Tenggelam ?

Pada pokok bahasan **Massa Jenis dan Berat Jenis**, telah dijelaskan konsep terapung dan tenggelam dari sudut pandang ilmu fisika. Apabila kerapatan alias massa jenis suatu benda lebih kecil dari massa jenis air, maka benda akan terapung. Sebaliknya jika kerapatan suatu benda lebih besar dari kerapatan air maka benda tersebut akan tenggelam.

Nah, kebanyakan kapal terbuat dari besi dan baja. Massa jenis besi dan baja = $7,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ sedangkan masa jenis air = $1,00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Tampak bahwa kerapatan besi dan baja lebih besar dari kerapatan air. Dalam hal ini berat jenis besi dan baja = 7,8. seharusnya kapal yang terbuat dari besi dan baja tenggelam dunk 😊 lalu mengapa kapal tidak tenggelam ?

Contoh soal 1 :

Sebuah batu bermassa 40 Kg berada di dasar sebuah kolam. Jika volume batu = $0,2 \text{ m}^3$, berapakah gaya minimum yang diperlukan untuk mengangkat batu tersebut ?

Panduan jawaban :

$$\text{Massa batu (m)} = 40 \text{ Kg}$$

$$\text{Volume batu (V)} = 0,02 \text{ m}^3$$

$$\text{Massa jenis air} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

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

$$\mathbf{F \text{ apung}} = w_F$$

$$F \text{ apung} = m_F g \rightarrow m = \rho V$$

$$F \text{ apung} = \rho_F g V$$

$$F \text{ apung} = (1000 \text{ Kg/m}^3)(10 \text{ m/s}^2)(0,02 \text{ m}^3)$$

$$F \text{ apung} = 200 \text{ Kg m/s}^2$$

$$F \text{ apung} = 200 \text{ N}$$

$$\mathbf{Berat \text{ batu (w)}} = mg$$

$$\text{Berat batu} = (40 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)$$

$$\text{Berat batu} = 400 \text{ kg m/s}^2$$

$$\text{Berat batu} = 400 \text{ N}$$

Gaya minimum yang diperlukan untuk mengangkat batu :

$$\text{Berat batu} - \text{Gaya apung} = 400 \text{ N} - 200 \text{ N} = 200 \text{ Newton... (seolah-olah massa batu hanya 20 Kg)}$$

Contoh soal 2 :

Berat benda di udara = 5000 Kgm/s² dan berat benda tersebut dalam air = 4000 Kgm/s² . Jika massa jenis benda = 2000 Kg/m³, berapakah massa dan volume benda tersebut ? g = 10 m/s²

Panduan jawaban :

Percepatan gravitasi (g) = 10 m/s²

Massa jenis benda = 2000 Kg/m³

Massa jenis air = 1000 Kg/m³

Berat benda di udara = 5000 Kgm/s²

Berat benda dalam air = 4000 Kgm/s²

Gaya apung (F apung) = Berat benda di udara – Berat benda dalam air

F apung = 5000 Kgm/s² – 4000 Kgm/s²

F apung = 1000 Kgm/s²

F apung = Berat air yang dipindahkan

F apung = (massa air)(g)

F apung = (volume air yang dipindahkan)(massa jenis air)(g)

$$\text{Volume air yang dipindahkan} = \frac{F_{\text{apung}}}{(\text{Massa Jenis Air})(g)}$$

$$\text{Volume air yang dipindahkan} = \frac{1000 \text{ Kgm} / \text{s}^2}{(1000 \text{ Kg} / \text{m}^3)(10 \text{ m} / \text{s}^2)}$$

$$\text{Volume air yang dipindahkan} = \frac{1000}{10000} \text{ m}^3$$

$$\text{Volume air yang dipindahkan} = 0,1 \text{ m}^3$$

Volume air yang dipindahkan = Volume benda yang menyelam dalam air ;)

Jadi **volume benda = $0,1 \text{ m}^3$**

Massa benda = ?

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

$$m = \rho V$$

$$m = (2000 \text{ Kg} / \text{m}^3)(0,1 \text{m}^3)$$

$$m = 200 \text{ Kg}$$

Massa benda = 200 Kg

Contoh soal 3 :

Berapakah volume helium yang diperlukan apabila sebuah balon harus mengangkat 500 Kg beban ?

Panduan Jawaban :

Massa jenis helium = $0,1786 \text{ Kg/m}^3$

Massa jenis udara = $1,293 \text{ Kg/m}^3$

Gaya apung = Berat udara yang dipindahkan = Berat beban + Berat helium

Gaya apung = Berat beban + berat helium

Gaya apung = (massa beban)(g) + (massa helium)(g)

Gaya apung = (massa beban + massa helium)g ---- persamaan 1

Gaya apung = Berat udara yang dipindahkan

Gaya apung = (massa udara yang dipindahkan)(g) ---- persamaan 2

Kita gabungkan persamaan 1 dan persamaan 2 :

$$(massa\ beban + massa\ helium)(g) = (massa\ udara\ yang\ dipindahkan)(g)$$

massa beban + massa helium = massa udara yang dipindahkan

$$500\ kg + (\rho\ helium)(V\ helium) = (\rho\ udara)(V\ udara)$$

$$500\ kg = (\rho\ udara)(V\ udara) - (\rho\ helium)(V\ helium)$$

Volume udara yang dipindahkan (V udara) = Volume helium yang mengisi balon (V helium)

$$500\ kg = (\rho\ udara - \rho\ helium)(V)$$

$$V = \frac{500Kg}{\rho_{udara} - \rho_{helium}}$$

$$V = \frac{500Kg}{1,293Kg / m^3 - 0,1786Kg / m^3}$$

$$V = \frac{500Kg}{1,1144Kg / m^3}$$

$$V = 448,7\ m^3$$

Ini adalah volume helium minimum yang diperlukan untuk mengangkat beban di permukaan bumi. Agar si balon bisa mengapung lebih tinggi, volume helium perlu ditambah. Volume helium perlu ditambah karena massa jenis udara berkurang terhadap ketinggian.

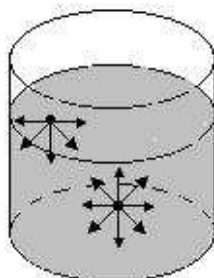
Tegangan Permukaan

Pernahkah bermain gelembung sabun ? aneh ya, gelembung sabun kok bisa berbentuk bulat.. lucu & asyik... bisa ditiup lagi. Terus setelah *terbang*, gelembung sabun pecah. Wah, seru ya permainan masa kecil. Btw, mengapa ya gelembung sabun bisa berbentuk bulat ? Ngomong soal *bulat*, ada juga yang *mirip* gelembung sabun. Yang ini banyak dijumpai di pagi hari... coba dirimu bangun di pagi hari, terus perhatikan dedaunan yang ada di sekitar rumah. Amati tetesan embun yang menempel di dedaunan. Aneh khan, tetes embun juga kadang bentuknya bulat. Mengapa ya bisa seperti itu ? atau kalau dirimu malas bangun pagi, coba perhatikan tetesan air yang keluar dari kran air. Krannya ditutup dahulu. Setelah itu, putar kran perlahan-lahan hingga yang keluar dari mulut kran adalah tetes-tetes air... kalau diamati, air yang menetes dari mulut kran mula-mula menggumpal (bulat). Lama kelamaan bulatannya semakin besar lalu pecah dan jatuh ke lantai. Apa yang membuat air menjadi seperti itu ? semuanya bisa dijelaskan dengan ilmu fisika... *fisika lagi, fisika lagi...* mumet dah. Hehe... 😊 ingin tahu mengapa demikian ? mari kita bertarung dengan **Tegangan Permukaan**. Setelah mempelajari pokok bahasan Tegangan Permukaan, dirimu dengan mudah menjelaskan fenomena tersebut...

Konsep Tegangan Permukaan

Sebelum melangkah lebih jauh 😊, alangkah baiknya jika dirimu melakukan percobaan kecil-kecilan mengenai tegangan permukaan. Masukkan air ke dalam sebuah wadah (misalnya gelas). sediakan juga sebuah penjepit kertas (klip). Nah, sekarang letakan klip secara perlahan-lahan di atas air. Jika dilakukan secara baik dan benar, maka klip tersebut akan mengapung di atas permukaan air. Biasanya klip terbuat dari logam, sehingga kerapatannya lebih besar dari kerapatan air. Karena massa jenis klip lebih besar dari massa jenis air, maka seharusnya klip itu tenggelam. Tapi kenyataannya klip terapung. Fenomena ini merupakan salah satu contoh dari adanya *Tegangan Permukaan*.

Untuk menjelaskan fenomena klip yang terapung di atas air, terlebih dahulu harus diketahui apa sesungguhnya tegangan permukaan itu. Tegangan permukaan terjadi karena permukaan zat cair cenderung untuk menegang sehingga permukaannya tampak seperti selaput tipis. Hal ini dipengaruhi oleh adanya gaya kohesi antara molekul air. Agar semakin memahami penjelasan ini, perhatikan ilustrasi berikut. Kita tinjau cairan yang berada di dalam sebuah wadah.



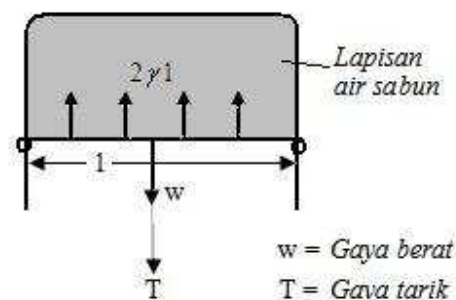
Molekul cairan biasanya saling tarik menarik. Di bagian dalam cairan, setiap molekul cairan dikelilingi oleh molekul-molekul lain di setiap sisinya; tetapi di permukaan cairan, hanya ada molekul-molekul cairan di samping dan di bawah. Di bagian atas tidak ada molekul cairan lainnya. Karena molekul cairan saling tarik menarik satu dengan lainnya, maka terdapat gaya total yang besarnya nol pada molekul yang berada di bagian dalam cairan. Sebaliknya, molekul cairan yang terletak dipermukaan ditarik oleh molekul cairan yang berada di samping dan bawahnya. Akibatnya, pada permukaan cairan terdapat gaya total yang berarah ke bawah. Karena adanya gaya total yang arahnya ke bawah, maka cairan yang terletak di permukaan cenderung memperkecil luas permukaannya, dengan menyusut sekuat mungkin. Hal ini yang menyebabkan lapisan cairan pada permukaan seolah-olah tertutup oleh selaput elastis yang tipis. Fenomena ini kita kenal dengan istilah *Tegangan Permukaan*.

Lalu mengapa klip tidak tenggelam ?

Ketika klip diletakan secara hati-hati ke atas permukaan air, molekul-molekul air yang terletak di permukaan agak ditekan oleh gaya berat klip tersebut, sehingga molekul-molekul air yang terletak di bawah memberikan gaya pemulih ke atas untuk menopang klip tersebut (ingat kembali elastisitas). Dalam kenyataannya, bukan hanya klip alias penjepit kertas, tetapi juga bisa benda lain seperti jarum. Apabila kita meletakkan jarum secara hati-hati di atas permukaan air, maka jarum akan terapung. Adanya tegangan permukaan cairan juga menjadi alasan mengapa serangga bisa mengapung di atas air.

Persamaan Tegangan Permukaan

Pada pembahasan sebelumnya, kita telah mempelajari konsep tegangan permukaan secara kualitatif (tidak ada persamaan matematis). Kali ini kita tinjau tegangan permukaan secara kuantitatif. Untuk membantu kita menurunkan persamaan tegangan permukaan, kita tinjau sebuah kawat yang dibengkokkan membentuk huruf U. Sebuah kawat lain yang berbentuk lurus dikaitkan pada kedua kaki kawat U, di mana kawat lurus tersebut bisa digerakkan (*lihat gambar di bawah*).



Jika kawat ini dimasukkan ke dalam larutan sabun, maka setelah dikeluarkan akan terbentuk lapisan air sabun pada permukaan kawat tersebut. Mirip seperti ketika dirimu bermain gelembung sabun. Karena kawat lurus bisa digerakkan dan massanya tidak terlalu besar, maka lapisan air sabun akan memberikan gaya tegangan permukaan pada kawat lurus sehingga kawat lurus bergerak ke atas (*perhatikan arah panah*). Untuk mempertahankan kawat lurus tidak bergerak (kawat berada dalam kesetimbangan), maka diperlukan gaya total yang arahnya ke bawah, di mana besarnya gaya total adalah $F = w + T$. Dalam kesetimbangan, $F =$ gaya tegangan permukaan yang dikerjakan oleh lapisan air sabun pada kawat lurus.

Misalkan panjang kawat lurus adalah l . Karena lapisan air sabun yang menyentuh kawat lurus memiliki dua permukaan, maka gaya tegangan permukaan yang ditimbulkan oleh lapisan air sabun bekerja sepanjang $2l$. *Tegangan permukaan* pada lapisan sabun merupakan perbandingan antara *Gaya Tegangan Permukaan* (F) dengan panjang permukaan di mana gaya bekerja (d). Untuk kasus ini, panjang permukaan adalah $2l$. Secara matematis, ditulis :

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

$$\gamma = \frac{F}{2l}$$

Keterangan :

γ = Tegangan permukaan

F = Gaya tegangan permukaan

Karena tegangan permukaan merupakan perbandingan antara *Gaya tegangan permukaan* dengan *Satuan panjang*, maka satuan tegangan permukaan adalah Newton per meter (N/m) atau dyne per centimeter (dyn/cm).

$$1 \text{ dyn/cm} = 10^{-3} \text{ N/m} = 1 \text{ mN/m}$$

Berikut ini beberapa nilai *Tegangan Permukaan* yang diperoleh berdasarkan percobaan.

Zat cair yang bersentuhan dengan udara	Suhu (°C)	Tegangan Permukaan (mN/m = dyn/cm)
Air	0	75,60
Air	20	72,80
Air	25	72,20
Air	60	66,20
Air	80	62,60
Air	100	58,90
Air sabun	20	25,00
Minyak Zaitun	20	32,00
Air Raksa	20	465,00
Oksigen	-193	15,70
Neon	-247	5,15
Helium	-269	0,12
Aseton	20	23,70
Etanol	20	22,30

Gliserin	20	63,10
Benzena	20	28,90

Berdasarkan data Tegangan Permukaan, tampak bahwa suhu mempengaruhi nilai tegangan permukaan fluida. Umumnya ketika terjadi kenaikan suhu, nilai tegangan permukaan mengalami penurunan (*Bandungkan nilai tegangan permukaan air pada setiap suhu. Lihat tabel*). Hal ini disebabkan karena ketika suhu meningkat, molekul cairan bergerak semakin cepat sehingga pengaruh interaksi antar molekul cairan berkurang. Akibatnya nilai tegangan permukaan juga mengalami penurunan.

Penerapan Konsep Tegangan Permukaan dalam kehidupan sehari-hari

Pernahkah dirimu bertanya, mengapa kita harus mencuci pakaian dengan sabun ? Persoalannya, agar pakaian yang kita cuci benar-benar bersih maka air harus melewati celah yang sangat sempit pada serat pakaian. Untuk itu diperlukan penambahan luas permukaan air. Nah, hal ini sangat sukar dilakukan karena adanya tegangan permukaan. Mau tidak mau nilai tegangan permukaan air harus diturunkan dahulu. Kita bisa menurunkan tegangan permukaan dengan cara menggunakan air panas. Makin tinggi suhu air, makin baik karena semakin tinggi suhu air, semakin kecil tegangan permukaan (*lihat tabel*). Ini alternatif pertama dan merupakan cara yang jarang digunakan. Kecuali mereka yang suka bermain dengan air panas 😊

Alternatif lainnya adalah menggunakan sabun. Pada suhu 20 °C, nilai Tegangan Permukaan air sabun adalah 25,00 mN/m. Coba bandingkan antara air sabun dan air panas, manakah nilai tegangan permukaan paling kecil ? Pada 100 °C, nilai tegangan permukaan air panas = 58,90. Pada suhu 20 °C, nilai tegangan permukaan air sabun adalah 25,00 mN/m. Lebih menguntungkan pakai sabun... airnya juga tidak panas. Jangan heran kalau sabun sangat laris di pasar. Semuanya karena *fisika oh fisika 😊engkau yang kubenci, tapi telah membantuku membersihkan pakaian yang kotor*. Bukan cuma pakaian, tapi tubuh kita juga. Ini cuma beberapa contoh...

(catatan : masih ada faktor lain yang mempengaruhi pakaian atau tubuh kita bisa dibersihkan dengan sabun. Jadi yang dijelaskan di atas hanya salah satu faktor yang mempengaruhi. Mungkin akan anda pelajari pada mata pelajaran kimia)

Mengapa gelembung sabun atau air berbentuk bulat ?

Sebelum mengakhiri pokok bahasan ini, alangkah baiknya jika pahami mengapa gelembung sabun atau tetes air berbentuk bulat. Gelembung sabun atau tetes air berbentuk bulat karena dipengaruhi oleh adanya tegangan permukaan. Terlebih dahulu kita bahas gelembung sabun. Gelembung sabun memiliki dua selaput tipis pada permukaannya dan di antara kedua selaput tersebut terdapat lapisan air tipis. Adanya tegangan permukaan menyebabkan selaput berkontraksi dan cenderung memperkecil luas permukaannya. Ketika selaput air sabun berkontraksi dan berusaha memperkecil luas permukaannya, timbul perbedaan tekanan udara di bagian luar selaput (*tekanan atmosfer*) dan tekanan udara di bagian dalam selaput. Tekanan udara yang berada di luar selaput (*tekanan atmosfer*) turut mendorong selaput air sabun ketika ia melakukan kontraksi, karena tekanan udara di bagian dalam selaput lebih kecil.

Setelah selaput berkontraksi, maka udara di dalamnya (*udara yang terperangkap di antara dua selaput*) ikut tertekan, sehingga menaikkan tekanan udara di dalam selaput sampai tidak terjadi kontraksi lagi. *Dengan kata lain, ketika tidak terjadi kontraksi lagi, besarnya tekanan udara di antara selaput sama dengan tekanan atmosfer + gaya tegangan permukaan yang mengerutkan selaput.*

Lalu bagaimana dengan tetes embun atau tetes air yang keluar dari kran ?

Pada dasarnya sama saja karena penyebab utamanya adalah tegangan permukaan. Kalau gelembung air sabun memiliki dua selaput tipis pada dua permukaannya, maka tetes air hanya memiliki satu selaput tipis, yakni pada bagian luar tetes air. Bagian dalamnya penuh dengan air. Akibat adanya gaya kohesi, maka timbul tegangan permukaan. Bagian luar tetes air ditarik ke dalam. Akibatnya, air berkontraksi dan cenderung memperkecil luas permukaannya. Tekanan atmosfer yang berada di luar turut membantu menekan tetes air. *Kontraksi akan terhenti ketika tekanan pada bagian dalam air sama dengan tekanan atmosfer + gaya tegangan permukaan yang mengerutkan selaput air.*

Kapilaritas

Pernah lihat lilin-kah ? mudah-mudahan pernah menggunakannya. Salah satu fenomena yang menarik dapat kita saksikan ketika lilin sedang bernyala. Bagian bawah dari sumbu lilin yang terbakar biasanya selalu basah oleh leleh lilin (*di bagian sumbu*). Adanya leleh lilin pada sumbu membuat lilin bisa bernyala dalam waktu yang lama. Btw, apa yang menyebabkan leleh lilin bisa bergerak ke atas menuju sumbu lilin yang terbakar ? fenomena yang sama bisa kita amati pada lampu minyak. Lampu minyak merupakan salah satu sumber penerangan ketika belum ada lampu listrik. Mungkin saat ini masih digunakan. Lampu minyak terdiri dari wadah yang berisi bahan bakar (biasanya minyak tanah) dan sumbu. Sebagian sumbu dicelupkan dalam wadah yang berisi minyak tanah, sedangkan sebagian lagi dibungkus dalam pipa kecil. Pada ujung atas pipa tersebut, disisakan sebagian sumbu. Jika kita ingin menggunakan lampu minyak, maka sumbu yang terletak di ujung atas pipa kecil tersebut harus dibakar. Sumbu tersebut bisa menyala dalam waktu yang lama karena minyak tanah yang berada dalam wadah merembes ke atas, hingga mencapai ujung sumbu yang terbakar. Aneh ya, kok minyak tanah bisa merembes ke atas ?

Banyak hal menarik dalam kehidupan kita yang mirip dengan fenomena yang terjadi pada lilin dan lampu minyak. Seolah-olah cairan tersebut mempunyai kaki sehingga bisa bergerak ke atas. Apakah dirimu bisa menjelaskannya secara ilmiah ?

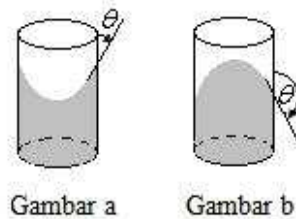
Salah satu konsep fisika yang bisa menjelaskan fenomena yang terjadi pada lilin, lampu minyak serta banyak fenomena terkait lainnya adalah *Kapilaritas*. *Terus kapilaritas itu apa ?* untuk memahami konsep Kapilaritas, pahami penjelasan berikut ini.

Gaya Kohesi dan Adhesi

Dirimu mungkin pernah mendengar istilah *Kohesi* dan *Adhesi*. *Gaya Kohesi* merupakan gaya tarik menarik antara molekul dalam zat yang sejenis, sedangkan gaya tarik menarik antara molekul zat yang tidak sejenis dinamakan Gaya Adhesi. Misalnya kita tuangkan air dalam sebuah gelas. *Kohesi* terjadi ketika molekul air saling tarik menarik, sedangkan *adhesi* terjadi ketika molekul air dan molekul gelas saling tarik menarik.

Sudut Kontak

Sebelum mempelajari konsep *Kapilaritas*, terlebih dahulu kita pahami bagaimana pengaruh gaya adhesi dan gaya kohesi bagi Kapilaritas. Misalnya kita tinjau cairan yang berada dalam sebuah gelas (*lihat gambar di bawah*). Ketika gaya kohesi molekul cairan lebih kuat daripada gaya adhesi (*gaya tarik menarik antara molekul cairan dengan molekul gelas*) maka permukaan cairan akan membentuk lengkungan ke atas. Contoh untuk kasus ini adalah ketika air berada dalam gelas. Biasanya dikatakan bahwa air membasahi permukaan gelas. Sebaliknya apabila gaya adhesi lebih kuat maka permukaan cairan akan melengkung ke bawah. Contohnya ketika air raksa berada di dalam gelas.

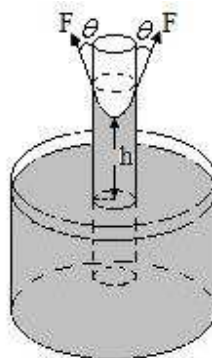


Sudut yang dibentuk oleh lengkungan itu dinamakan *sudut kontak (teta)*. Ketika gaya kohesi cairan lebih besar daripada gaya adhesi, maka sudut kontak yang terbentuk umumnya lebih kecil dari 90° (*gambar a*). Sebaliknya, apabila gaya adhesi lebih besar daripada gaya kohesi cairan, maka sudut kontak yang terbentuk lebih besar dari 90° (*gambar b*). Gaya adhesi dan gaya kohesi secara teoritis sulit dihitung, tetapi sudut kontak dapat diukur. Apa hubungannya dengan kapilaritas ?

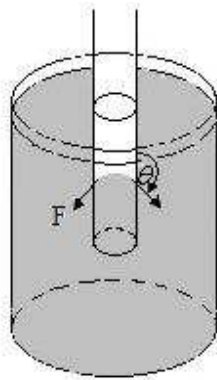
Konsep Kapilaritas

Seperti yang telah dijelaskan pada pokok bahasan *Tegangan Permukaan*, pada setiap permukaan cairan terdapat tegangan permukaan.

Apabila gaya kohesi cairan lebih besar dari gaya adhesi, maka permukaan cairan akan melengkung ke atas. Ketika kita memasukan tabung atau pipa tipis (*pipa yang diameternya lebih kecil dari wadah*), maka akan terbentuk bagian cairan yang lebih tinggi (*Lihat digambar di bawah*). Dengan kata lain, cairan yang ada dalam wadah naik melalui kolom pipa tersebut. Hal ini disebabkan karena *gaya tegangan permukaan total* sepanjang dinding tabung bekerja ke atas. Ketinggian maksimum yang dapat dicapai cairan adalah ketika gaya tegangan permukaan sama atau setara dengan berat cairan yang berada dalam pipa. Jadi, cairan hanya mampu naik hingga ketinggian di mana gaya tegangan permukaan *seimbang* dengan berat cairan yang ada dalam pipa.



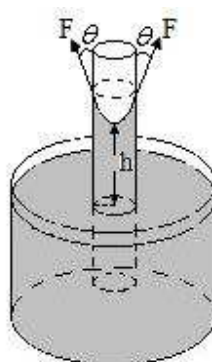
Sebaliknya, jika gaya adhesi lebih besar daripada gaya kohesi cairan, maka permukaan cairan akan melengkung ke bawah. Ketika kita memasukan tabung atau pipa tipis (*pipa yang diameternya lebih kecil dari wadah*), maka akan terbentuk bagian cairan yang lebih rendah (*lihat gambar di bawah*).



Efek ini dikenal dengan julukan *gerakan kapiler* alias *kapilaritas* dan pipa tipis tersebut dinamakan *pipa kapiler*. Perlu diketahui bahwa pembuluh darah kita yang terkecil juga bisa disebut pipa kapiler, karena peredaran darah pada pembuluh darah yang kecil juga terjadi akibat adanya efek kapilaritas. Demikian juga fenomena naiknya leleh lilin atau minyak tanah melalui sumbu. Selain itu, kapilaritas juga diyakini berperan penting bagi perjalanan air dan zat bergizi dari akar ke daun melalui pembuluh *xylem* yang ukurannya sangat kecil. Bila tidak ada kapilaritas, permukaan tanah akan langsung mengering setelah turun hujan atau disirami air. Efek penting lainnya dari kapilaritas adalah tertahannya air di celah-celah antara partikel tanah. Lumayan, bisa membantu para petani di kebun....

Persamaan Kapilaritas

Pada penjelasan sebelumnya, dikatakan bahwa *ketinggian maksimum yang dapat dicapai cairan* ketika cairan naik melalui pipa kapiler *terjadi ketika gaya tegangan permukaan seimbang dengan berat cairan yang ada dalam pipa kapiler*. Nah, bagaimana kita bisa menentukan ketinggian air yang naik melalui kolom pipa kapiler? *mau tidak mau*, kita harus menggunakan persamaan 😊 *rumus lagi, rumus lagi...* Untuk membantu kita menurunkan persamaan, perhatikan gambar di bawah.



Tampak bahwa cairan naik pada kolom pipa kapiler yang memiliki jari-jari r hingga ketinggian h . Gaya yang berperan dalam menahan cairan pada ketinggian h adalah komponen gaya tegangan permukaan pada arah vertikal : $F \cos \theta$ (*bandingkan dengan gambar di bawah*).

Bagian atas pipa kapiler terbuka sehingga terdapat tekanan atmosfer pada permukaan cairan. Panjang permukaan sentuh antara cairan dengan pipa adalah $2\pi r$ (keliling lingkaran). Dengan demikian, besarnya gaya tegangan permukaan komponen vertikal yang bekerja sepanjang permukaan kontak adalah :

$$\gamma = \frac{F}{d} \rightarrow F = \gamma d$$

$$F = \gamma d \cos \theta$$

$$F = \gamma 2\pi r \cos \theta$$

Keterangan :

F = Gaya tegangan permukaan

γ = Tegangan permukaan

r = Jari-jari pipa kapiler

θ = Sudut kontak

Apabila permukaan cairan yang melengkung ke atas diabaikan, maka volume cairan dalam pipa adalah :

Volume cairan = Luas permukaan pipa x Ketinggian cairan

$$V = Ah$$

$$V = (\pi r^2)h$$

Apabila komponen vertikal dari Gaya Tegangan Permukaan seimbang dengan berat kolom cairan dalam pipa kapiler, maka cairan tidak dapat naik lagi. Dengan kata lain, cairan akan mencapai ketinggian maksimum, apabila komponen vertikal dari gaya tegangan permukaan seimbang dengan berat cairan setinggi h . Komponen vertikal dari *gaya tegangan permukaan* adalah :

$$F = \gamma 2\pi r \cos \theta$$

Sedangkan berat cairan dalam pipa kapiler adalah :

$$w = mg$$

$$w = \rho V g$$

$$w = \rho(\pi r^2 h) g$$

Ketika cairan mencapai ketinggian maksimum (h), Komponen vertikal dari gaya tegangan permukaan harus sama dengan berat cairan yang ada dalam pipa kapiler. Secara matematis, ditulis :

$$F = w$$

$$\gamma 2\pi r \cos \theta = \rho(\pi r^2 h) g$$

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho(\pi r^2) g}$$

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

Ini adalah persamaan yang kita cari. Jika dirimu ingin menentukan ketinggian kolom cairan, silahkan menggunakan persamaan ini 😊 tidak perlu malu-malu... sekian ya.

Viskositas

Pernah lihat minyak pelumas-kah ? oli motor... yang cowok pasti tahu, soalnya tiap hari kebut2an di jalan. He2.... Coba bandingkan oli dengan air. Manakah yang lebih kental ? Ah, gurumuda ini. Cuma gitu kok nanya... oli lebih kental dunk. Ich, pinter... sekarang giliran cewe. Kalau yang cewe khan dekat dengan ibu, jadi pasti tahu minyak goreng. Wah, kalau anak mami, pasti cuma bisa rebus mi sedap... piss.... Mana yang lebih cair, minyak goreng atau es teh ? es teh-lah... anak sd juga bisa jawab. Ich, pinter2 ya, pelajar jaman sekarang... Hehe... btw, pada kesempatan ini kita akan mempelajari kekentalan suatu fluida, baik zat gas maupun zat cair. Istilah kerennya viskositas. Viskositas = ukuran kekentalan fluida. Met belajar ya... semoga tiba dengan selamat di tempat tujuan 😊

Konsep Viskositas

Fluida, baik zat cair maupun zat gas yang jenisnya berbeda memiliki tingkat kekentalan yang berbeda. Pernah lihat air khan ? air apa dulu gurumuda 😊 air sumur, air leding, air minum, air tawar, air putih... he2... ini mah jenisnya sama, cuma nama panggilannya berbeda... maksud gurumuda adalah zat cair yang jenisnya berbeda... misalnya sirup dan air. Sirup biasanya lebih kental dari air. Atau air susu, minyak goreng, oli, darah, dkk.... Tambahin sendiri. Tingkat kekentalan setiap zat cair tersebut berbeda-beda. Btw, pada umumnya, zat cair tuh lebih kental dari zat gas.

Viskositas alias kekentalan sebenarnya merupakan gaya gesekan antara molekul-molekul yang menyusun suatu fluida (fluida tuh zat yang dapat mengalir, dalam hal ini zat cair dan zat gas... jangan pake lupa ya). Istilah gaulnya, viskositas tuh gaya gesekan internal fluida (internal = dalam). Jadi molekul-molekul yang membentuk suatu fluida saling gesek-menggesek ketika fluida tersebut mengalir. Pada zat cair, viskositas disebabkan karena adanya gaya kohesi (gaya tarik menarik antara molekul sejenis). Sedangkan dalam zat gas, viskositas disebabkan oleh tumbukan antara molekul.

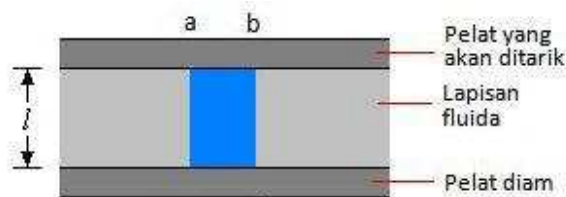
Fluida yang lebih cair biasanya lebih mudah mengalir, contohnya air. Sebaliknya, fluida yang lebih kental lebih sulit mengalir, contohnya minyak goreng, oli, madu dkk. Dirimu bisa membuktikan dengan menuangkan air dan minyak goreng di atas lantai yang permukaannya miring. Pasti air ngalir lebih cepat daripada minyak goreng atau oli. Tingkat kekentalan suatu fluida juga bergantung pada suhu. Semakin tinggi suhu zat cair, semakin kurang kental zat cair tersebut. Misalnya ketika ibu menggoreng paha ikan di dapur, minyak goreng yang awalnya kental menjadi lebih cair ketika dipanaskan. Sebaliknya, semakin tinggi suhu suatu zat gas, semakin kental zat gas tersebut.

Oya, perlu diketahui bahwa viskositas alias kekentalan cuma ada pada fluida riil (riil = nyata). Fluida riil/nyata tuh fluida yang kita temui dalam kehidupan sehari-hari, seperti air, sirup, oli, asap knalpot, dkk.... Fluida riil berbeda dengan fluida ideal. Fluida ideal sebenarnya tidak ada dalam kehidupan sehari-hari. Fluida ideal hanya model yang digunakan untuk membantu kita dalam menganalisis aliran fluida (fluida ideal ini yang kita pakai dalam pokok bahasan Fluida Dinamis). Mirip seperti kita menganggap benda sebagai benda tegar, padahal dalam kehidupan sehari-hari sebenarnya tidak ada benda yang benar-benar tegar/kaku. Tujuannya sama, biar analisis kita menjadi lebih sederhana alias tidak beribet. Ok, kembali ke laptop....

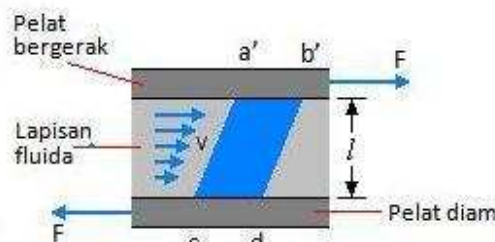
Visit <http://www.gurumuda.com> – Gudang Ilmu Fisika Gratis

Koofisien Viskositas

Viskositas fluida dilambangkan dengan simbol η (baca : eta). Ini hurufnya orang yunani. Hurufnya orang yunani aneh2, kakinya sebelah panjang, sebelahnya pendek... 😊 η = koofisien viskositas. Jadi tingkat kekentalan suatu fluida dinyatakan oleh koofisien viskositas fluida tersebut. Secara matematis, koofisien viskositas bisa dinyatakan dengan persamaan. Sekarang, siapkan amunisi secukupnya... kita akan menurunkan persamaan si koofisien viskositas. Untuk membantu menurunkan persamaan, kita meninjau gerakan suatu lapisan tipis fluida yang ditempatkan di antara dua pelat sejajar. Ok, tancap gas... Tataplah gambar di bawah dengan penuh kelembutan



Gambar 1



Gambar 2

Lapisan fluida tipis ditempatkan di antara 2 pelat. Gurumuda sengaja memberi warna biru pada lapisan fluida yang berada di bagian tengah, biar dirimu mudah paham dengan penjelasan gurumuda. Masih ingat si kohesi dan adhesi tidak ? kohesi tuh gaya tarik menarik antara molekul sejenis, sedangkan si adhesi tuh gaya tarik menarik antara molekul yang tak sejenis. Gaya adhesi bekerja antara pelat dan lapisan fluida yang nempel dengan pelat (molekul fluida dan molekul pelat saling tarik menarik). Sedangkan gaya kohesi bekerja di antara selaput fluida (molekul fluida saling tarik menarik).

Mula-mula pelat dan lapisan fluida diam (gambar 1). Setelah itu pelat yang ada di sebelah atas ditarik ke kanan (gambar 2). Pelat yang ada di sebelah bawah tidak ditarik (pelat sebelah bawah diam). Besar gaya tarik diatur sedemikian rupa sehingga pelat yang ada di sebelah atas bergeser ke kanan dengan laju tetap (v tetap). Karena ada gaya adhesi yang bekerja antara pinggir pelat dengan bagian fluida yang nempel dengan pelat, maka fluida yang ada di sebelah bawah pelat juga ikut2an bergeser ke kanan. Karena ada gaya kohesi antara molekul fluida, maka si fluida yang bergeser ke kanan tadi narik temannya yang ada di sebelah bawah. Temannya yang ada di sebelah bawah juga ikut2an bergeser ke kanan. Temannya tadi narik lagi temannya yang ada di sebelah bawah. begitu seterusnya...

Ingat ya, pelat yang ada di sebelah bawah diam. Karena si pelat diam, maka bagian fluida yang nempel dengan pelat tersebut juga ikut2an diam (ada gaya adhesi.. jangan pake lupa). Si fluida yang nempel

dengan pelat nahan temannya yang ada di sebelah atas. Temannya yang ada di sebelah atas juga nahan temannya yang ada di sebelah atas... demikian seterusnya.

Karena bagian fluida yang berada di sebelah atas menarik temannya yang berada di sebelah bawah untuk bergeser ke kanan, sebaliknya bagian fluida yang ada di sebelah bawah menahan temannya yang ada di sebelah atas, maka laju fluida tersebut bervariasi. Bagian fluida yang berada di sebelah atas bergerak dengan laju (v) yang lebih besar, temannya yang berada di sebelah bawah bergerak dengan v yang lebih kecil, demikian seterusnya. Jadi makin ke bawah v makin kecil. Dengan kata lain, kecepatan lapisan fluida mengalami perubahan secara teratur dari atas ke bawah sejauh l (lihat gambar 2)

Perubahan kecepatan lapisan fluida (v) dibagi jarak terjadinya perubahan (l) = $\frac{v}{l}$ dikenal dengan julukan gradien kecepatan. Nah, pelat yang berada di sebelah atas bisa bergerak karena ada gaya tarik (F). Untuk fluida tertentu, besarnya Gaya tarik yang dibutuhkan berbanding lurus dengan luas fluida yang nempel dengan pelat (A), laju fluida (v) dan berbanding terbalik dengan jarak l . Secara matematis, bisa ditulis sebagai berikut :

$$F \propto \frac{Av}{l} \rightarrow \text{Persamaan 1}$$

Sebelumnya, gurumuda sudah menjelaskan bahwa Fluida yang lebih cair biasanya lebih mudah mengalir, sebaliknya fluida yang lebih kental lebih sulit mengalir. Tingkat kekentalan fluida dinyatakan dengan koefisien viskositas. Nah, jika fluida makin kental maka gaya tarik yang dibutuhkan juga makin besar. Dalam hal ini, gaya tarik berbanding lurus dengan koefisien kekentalan. Secara matematis bisa ditulis sebagai berikut :

$$F \propto \eta \rightarrow \text{Persamaan 2}$$

Kita gabung persamaan 1 dan persamaan 2 :

$$F \propto \eta \frac{Av}{l} \rightarrow \text{Persamaan 3}$$

Persamaan 3 bisa ditulis seperti ini :

$$F = \eta \frac{Av}{l}$$

$$Fl = \eta Av$$

$$\eta = \frac{Fl}{Av}$$

Keterangan : η = Koefisien viskositas F = Gaya l = Jarak A = Luas permukaan v = Laju \propto = sebanding

Satuan Sistem Internasional (SI) untuk koefisien viskositas adalah $\text{Ns/m}^2 = \text{Pa}\cdot\text{s}$ (pascal sekon). Satuan CGS (centimeter gram sekon) untuk koefisien viskositas adalah $\text{dyn}\cdot\text{s/cm}^2 = \text{poise}$ (P). Viskositas juga sering dinyatakan dalam sentipoise (cP). $1 \text{ cP} = 1/100 \text{ P}$. Satuan poise digunakan untuk mengenang seorang Ilmuwan Perancis, almahrum Jean Louis Marie Poiseuille (baca : pwa-zoo-yuh).

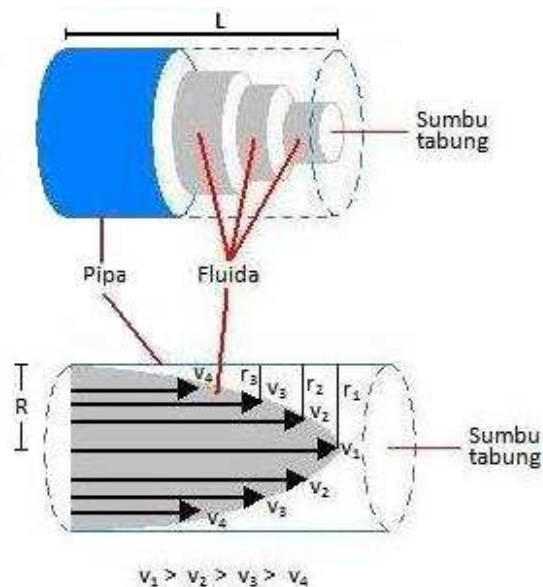
$$1 \text{ poise} = 1 \text{ dyn} \cdot \text{s/cm}^2 = 10^{-1} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$$

Fluida	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Koefisien Viskositas
Air	0	$1,8 \times 10^{-3}$
	20	$1,0 \times 10^{-3}$
	60	$0,65 \times 10^{-3}$
	100	$0,3 \times 10^{-3}$
Darah (keseluruhan)	37	$4,0 \times 10^{-3}$
Plasma Darah	37	$1,5 \times 10^{-3}$
Ethyl alkohol	20	$1,2 \times 10^{-3}$
Oli mesin (SAE 10)	30	200×10^{-3}
Gliserin	0	10.000×10^{-3}
	20	1500×10^{-3}
	60	81×10^{-3}
Udara	20	$0,018 \times 10^{-3}$
Hidrogen	0	$0,009 \times 10^{-3}$
Uap air	100	$0,013 \times 10^{-3}$

Persamaan Poiseuille

Sebelumnya kita sudah mempelajari konsep2 viskositas dan menurunkan persamaan koefisien viskositas. Pada kesempatan ini akan berkenalan dengan persamaan Poiseuille. Disebut persamaan Poiseuille, karena persamaan ini ditemukan oleh almahrum Jean Louis Marie Poiseuille (1799-1869).

Seperti yang sudah gurumuda jelaskan di awal tulisan ini, setiap fluida bisa kita anggap sebagai fluida ideal. Fluida ideal tidak mempunyai viskositas alias kekentalan. Jika kita mengandaikan suatu fluida ideal mengalir dalam sebuah pipa, setiap bagian fluida tersebut bergerak dengan laju (v) yang sama. Berbeda dengan fluida ideal, fluida riil alias fluida yang kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari mempunyai viskositas. Karena mempunyai viskositas, maka ketika mengalir dalam sebuah pipa, misalnya, laju setiap bagian fluida berbeda-beda. Lapisan fluida yang berada tengah-tengah bergerak lebih cepat (v besar), sebaliknya lapisan fluida yang nempel dengan pipa tidak bergerak alias diam ($v = 0$). Jadi dari tengah ke pinggir pipa, setiap bagian fluida tersebut bergerak dengan laju yang berbeda-beda. Untuk memudahkan pemahamanmu, amati gambar di bawah....



Keterangan :

R = jari-jari pipa/tabung

v_1 = laju aliran fluida yang berada di tengah/sumbu tabung

v_2 = laju aliran fluida yang berjarak r_2 dari pinggir tabung

v_3 = laju aliran fluida yang berjarak r_3 dari pinggir tabung

v_4 = laju aliran fluida yang berjarak r_4 dari pinggir tabung

r = jarak

Visit <http://www.gurumuda.com> – Gudang Ilmu Fisika Gratis

Gambar ini cuma ilustrasi saja. Oya, lupa... laju setiap bagian fluida berbeda-beda karena adanya kohesi dan adhesi (mirip seperti penjelasan sebelumnya, ketika kita menurunkan persamaan koefisien viskositas). Si viskositas bikin fluida sebel... 😊 Fluida terseok-seok dalam pipa (tabung). Hehe....

Agar laju aliran setiap bagian fluida sama, maka perlu ada perbedaan tekanan pada kedua ujung pipa atau tabung apapun yang dilalui fluida. Yang dimaksudkan dengan fluida di sini adalah fluida riil/nyata, jangan lupa ya. Contohnya air atau minyak yang mengalir melalui pipa, darah yang mengalir dalam pembuluh darah dkk... Selain membantu suatu fluida riil mengalir dengan lancar, perbedaan tekanan juga bisa membuat si fluida bisa mengalir pada pipa yang ketinggiannya berbeda.

Almahrum Jean Louis Marie Poiseuille, mantan ilmuwan perancis 😊 yang tertarik pada aspek-aspek fisika dari peredaran darah manusia, melakukan penelitian untuk menyelidiki bagaimana faktor-faktor, seperti perbedaan tekanan, luas penampang tabung dan ukuran tabung mempengaruhi laju fluida riil. (sstt.. pembuluh darah kita juga bentuknya mirip pipa, cuma ukurannya kecil sekali). Hasil yang diperoleh Almahrum Jean Louis Marie Poiseuille, dikenal dengan julukan *persamaan Poiseuille*.

Sekarang mari kita oprek persamaan almahrum Poiseuille. Persamaan Poiseuille ini bisa kita turunkan menggunakan bantuan persamaan koefisien viskositas yang telah kita turunkan sebelumnya. Kita gunakan persamaan viskositas karena kasusnya mirip walau tak sama.... Ketika menurunkan persamaan koefisien viskositas, kita meninjau aliran lapisan fluida riil antara 2 pelat sejajar dan fluida tersebut bisa bergerak karena adanya gaya tarik (F). Bedanya, persamaan Poiseuille yang akan kita turunkan sebenarnya menyatakan faktor-faktor yang mempengaruhi aliran fluida riil dalam pipa/tabung dan fluida mengalir akibat adanya perbedaan tekanan. Karenanya, persamaan koefisien viskositas perlu dioprek dan disesuaikan lagi. Kita tulis persamaannya dulu ya...

$$F = \eta \frac{Av}{l}$$

Karena fluida bisa mengalir akibat adanya perbedaan tekanan (fluida mengalir dari tempat yang tekanannya tinggi ke tempat yang tekanannya rendah), maka F kita ganti dengan $p_1 - p_2$ ($p_1 > p_2$).

$$(p_1 - p_2) = \eta \frac{Av}{l} \rightarrow \text{Persamaan 1}$$

Ketika menurunkan persamaan koefisien viskositas, kita meninjau aliran lapisan fluida riil antara 2 pelat sejajar. Setiap bagian fluida tersebut mengalami perubahan kecepatan teratur sejauh l. Untuk kasus ini, laju aliran fluida mengalami perubahan secara teratur dari sumbu tabung sampai ke tepi tabung. Fluida yang berada di sumbu tabung mengalir dengan laju (v) yang lebih besar. Semakin ke pinggir, laju fluida semakin kecil. Jari-jari tabung = jarak antara sumbu tabung dengan tepi tabung = R. Jarak antara setiap bagian fluida dengan tepi tabung = r. Karena jumlah setiap bagian fluida itu sangat banyak dan jaraknya dari tepi tabung juga berbeda-beda, maka kita cukup menulis seperti ini :

v_1 = laju fluida yang berada pada jarak r_1 dari tepi tabung ($r_1 = R$)

v_2 = laju fluida yang berada pada jarak r_2 dari tepi tabung ($r_2 < r_1$)

v_3 = laju fluida yang berada pada jarak r_3 dari tepi tabung ($r_3 < r_2 < r_1$)

Visit <http://www.gurumuda.com> – Gudang Ilmu Fisika Gratis

v_4 = laju fluida yang berada pada jarak r_4 dari tepi tabung ($r_4 < r_3 < r_2 < r_1$)

.....

v_n = laju fluida yang berada pada jarak r_n dari tepi tabung ($r_n < \dots < r_4 < r_3 < r_2 < r_1$)

Jumlah setiap bagian fluida sangat banyak dan kita juga tidak tahu secara pasti berapa jumlahnya yang sebenarnya, maka cukup ditulis dengan simbol n . Setiap bagian fluida mengalami perubahan laju (v) secara teratur, dari sumbu tabung ($r_1 = R$) sampai tepi tabung (r_n). Dari sumbu tabung ($r_1 = R$) ke tepi tabung (r_n), laju setiap bagian fluida makin kecil ($v_1 > v_2 > v_3 > v_4 > \dots > v_n$). Cara praktis untuk menentukan jarak terjadinya perubahan laju aliran fluida riil dalam tabung adalah menggunakan kalkulus. Tapi kalau pakai kalkulus malah gak nyambung alias beribet..... Dari penjelasan di atas, kita bisa punya gambaran bahwa dari R ke r_n , laju fluida semakin kecil. Ingat ya, panjang pipa = L . Jika dioprek dengan kalkulus, akan diperoleh persamaan :

$$(p_1 - p_2) = \eta v \frac{4L}{(R^2 - r^2)} \rightarrow \text{Persamaan 2}$$

Karena yang kita tinjau adalah laju (v) aliran fluida, maka persamaan 2 bisa diobok-obok menjadi :

$$\eta v 4L = (p_1 - p_2)(R^2 - r^2)$$

$$v = \frac{(p_1 - p_2)(R^2 - r^2)}{4\eta L}$$

$$v = \frac{(R^2 - r^2)}{4\eta} \frac{(p_1 - p_2)}{L} \rightarrow \text{Persamaan 3}$$

Wuh, bahasa apa ini. he2.... Ini adalah persamaan laju aliran fluida pada jarak r dari pipa yang berjari-jari R . Kalau bingung sambil lihat gambar di atas.... Perlu diketahui bahwa fluida mengalir dalam pipa alias tabung, sehingga kita perlu meninjau laju aliran volume fluida tersebut. Cara praktis untuk menghitung laju aliran volume fluida juga menggunakan kalkulus. Gurumuda jelaskan pengantarnya saja...

Di dalam tabung ada fluida. Misalnya kita membagi fluida menjadi potongan-potongan yang sangat kecil, di mana setiap potongan tersebut mempunyai satuan luas dA , berjarak dr dari sumbu tabung dan mempunyai laju aliran v . Secara matematis bisa ditulis sebagai berikut :

dA_1 = potongan fluida 1, yang berjarak dr_1 dari sumbu tabung

dA_2 = potongan fluida 2, yang berjarak dr_2 dari sumbu tabung

dA_3 = potongan fluida 3, yang berjarak dr_3 dari sumbu tabung

.....

dA_n = potongan fluida n, yang berjarak dr_n dari sumbu tabung

Potongan2 fluida sangat banyak, sehingga cukup ditulis dengan simbol n saja, biar lebih praktis (n = terakhir). Laju aliran volume setiap potongan fluida tersebut, secara matematis bisa ditulis sebagai berikut :

$$\frac{dV_1}{dt_1} = v dA_1 = v(2\pi r dr_1) = \text{laju aliran volume potongan fluida 1}$$

$$\frac{dV_2}{dt_2} = v dA_2 = v(2\pi r dr_2) = \text{laju aliran volume potongan fluida 2}$$

$$\frac{dV_3}{dt_3} = v dA_3 = v(2\pi r dr_3) = \text{laju aliran volume potongan fluida 3}$$

.....

$$\frac{dV_n}{dt_n} = v dA_n = v(2\pi r dr_n) = \text{laju aliran volume potongan fluida terakhir}$$

Setiap potongan fluida tersebut berada pada jarak $r = 0$ sampai $r = R$ (R = jari-jari tabung). Dengan kata lain, jarak setiap potongan fluida tersebut berbeda-beda jika diukur dari sumbu tabung. Jika kita oprek dengan kalkulus (diintegalkan), maka akan diperoleh persamaan laju aliran volume fluida dalam tabung :

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi}{8} \left(\frac{R^4}{\eta} \right) \left(\frac{p_1 - p_2}{L} \right) \rightarrow \frac{V}{t} = Q = \text{Debit}$$

$$Q = \frac{\pi}{8} \left(\frac{R^4}{\eta} \right) \left(\frac{p_1 - p_2}{L} \right) \rightarrow \text{Persamaan Poiseuille}$$

Keterangan :

Q = Debit

R = Jari-jari dalam pipa atau tabung

η = Koefisien viskositas

$p_1 - p_2$ = Perbedaan tekanan antara kedua ujung pipa

L = Panjang pipa

$$\frac{P_1 - P_2}{L} = \text{Gradien tekanan (aliran fluida selalu menuju arah penurunan tekanan)}$$

Berdasarkan persamaan Poiseuille di atas, tampak bahwa laju aliran volume fluida alias debit (Q) sebanding dengan pangkat empat jari-jari tabung (R^4), gradien tekanan (p_2-p_1/L) dan berbanding terbalik dengan viskositas. Jika jari-jari tabung ditambahkan (koefisien viskositas dan gradien tekanan tetap), maka laju aliran fluida meningkat sebesar faktor 16. Kalau dirimu mau kuliah di bagian teknik perledingan atau teknik pertubuhan, pahami persamaan almahrum Poiseuille ini dengan baik. Konsep dasar perancangan pipa, jarum suntik dkk menggunakan persamaan ini. Debit fluida sebanding dengan R^4 (R = jari-jari tabung). Karenanya, jari-jari jarum suntik atau jari-jari pipa perlu diperhitungkan secara saksama. Misalnya, jika kita menggandakan *jari-jari dalam* jarum ($r \times 2$), maka debit cairan yang nyemprot = menaikkan gaya tekan ibu jari sebesar 16 kali. Salah hitung bisa overdosis... he2.....

Persamaan almahrum Poiseuille juga menunjukkan bahwa pangkat empat jari-jari (r^4), berbanding terbalik dengan perbedaan tekanan antara kedua ujung pipa. Misalnya mula-mula darah mengalir dalam pembuluh darah yang mempunyai *jari-jari dalam* sebesar r . Kalau terdapat penyempitan pembuluh darah (misalnya $r/2$ = jari-jari dalam pembuluh darah berkurang 2 kali), maka diperlukan perbedaan tekanan sebesar 16 kali untuk membuat darah mengalir seperti semula (biar debit alias laju aliran volume darah tetap). Coba bayangkan... apa jantung gak copot gitu, kalau harus kerja keras untuk memompa biar darahnya bisa ngalir dengan debit yang sama... makanya kalau orang yang mengalami penyempitan pembuluh darah bisa kena tekanan darah tinggi, bahkan stroke karena jantung dipaksa untuk memompa lebih keras. Demikian juga orang yang gemuk, punya banyak kolesterol yang mempersempit pembuluh darah. Pembuluh darah nyempit dikit aja, jantung harus lembur... mending langsing saja, biar pembuluh darah normal, jantung pun ikut2an senang. Kalau si jantung gak lembur khan dirimu ikut2an senang, pacaran jalan terus... he2....

Referensi :

Giancoli, Douglas C., 2001, *Fisika Jilid I (terjemahan)*, Jakarta : Penerbit Erlangga

Halliday dan Resnick, 1991, *Fisika Jilid I, Terjemahan*, Jakarta : Penerbit Erlangga

Tipler, P.A.,1998, *Fisika untuk Sains dan Teknik–Jilid I (terjemahan)*, Jakarta : Penerbit Erlangga

Young, Hugh D. & Freedman, Roger A., 2002, *Fisika Universitas (terjemahan)*, Jakarta : Penerbit Erlangga