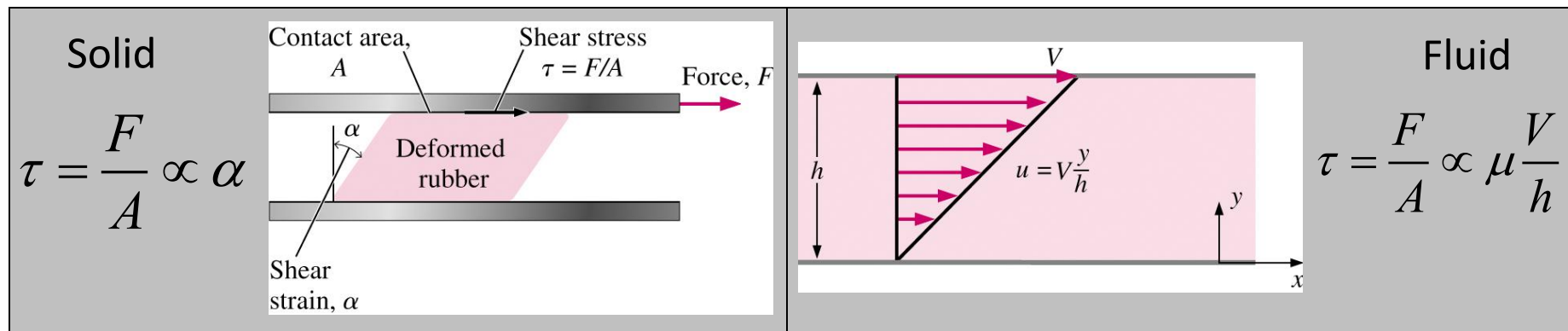


Classification of Fluid Flows

Properties of Fluids

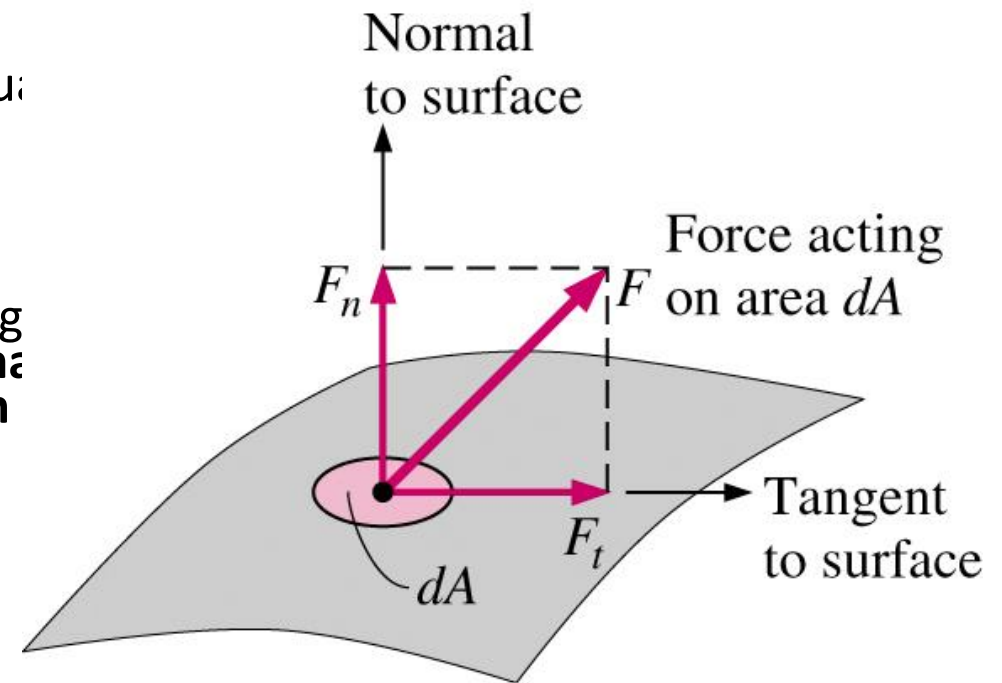
Apa yang disebut fluida?

- Fluida adalah zat dalam bentuk gas atau cair
- Perbedaan antara padat dan fluida?
 - Padat: dapat menahan gaya geser yang diberikan dengan cara mengalami deformasi. Tegangan sebanding dengan regangan
 - Fluida: mengalami deformasi terus-menerus di bawah gaya geser yang diberikan. Tegangan sebanding dengan laju regangan



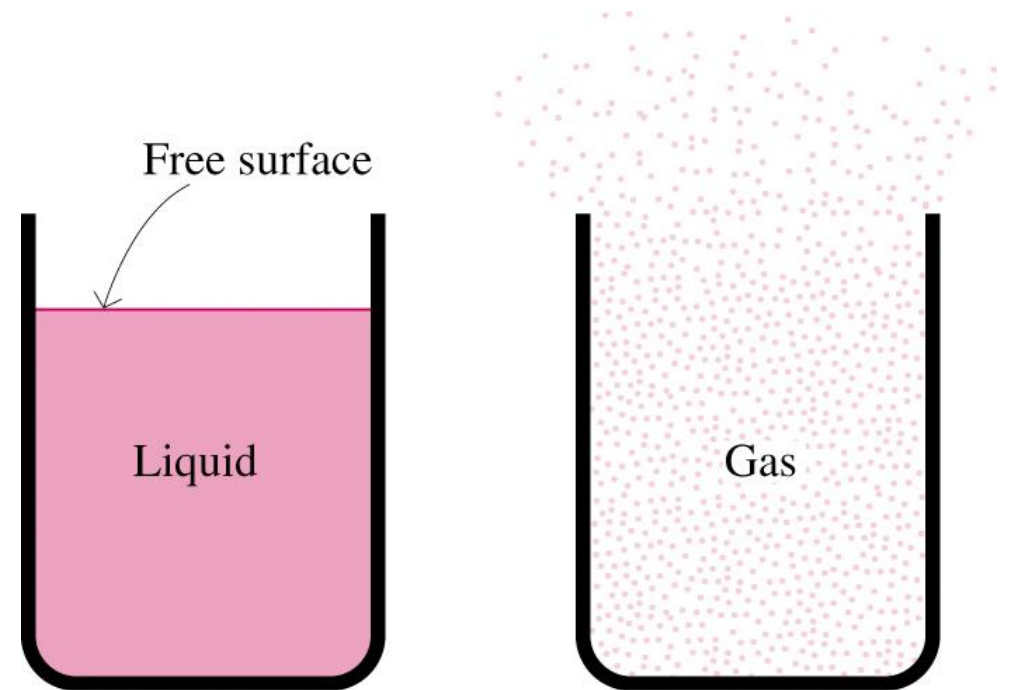
Apa yang disebut fluida?

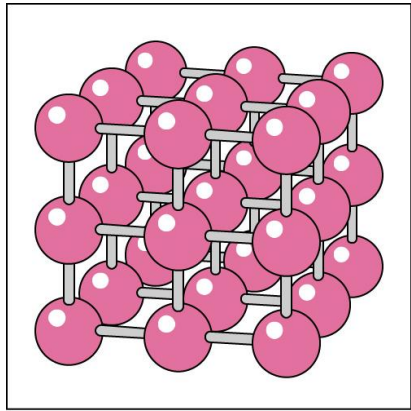
- Tegangan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas.
- Komponen normal: tegangan normal
- **Tegangan normal (normal stress)** adalah gaya per satuan luas yang bekerja **tegak lurus terhadap permukaan elemen fluida**.
- Dalam fluida yang diam, tegangan normal disebut tekanan
- Pada kondisi fluida **tidak bergerak (statis)**, semua gaya yang bekerja pada suatu elemen fluida hanyalah **tegangan normal** yang sama besar ke segala arah — gaya ini disebut **tekanan (pressure, P)**.
- Kalau **pada fluida bergerak (moving fluid)**, situasinya **berbeda dengan fluida diam** karena selain ada **tekanan (pressure)**, sekarang juga muncul **tegangan geser (shear stress)** akibat **viskositas fluida** dan **perbedaan kecepatan antar lapisan fluida**.
- Tegangan geser yang terakumulasi sepanjang pipa disebut pressure drop



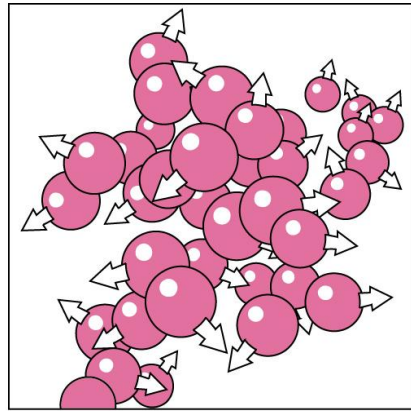
Apa yang disebut fluida?

- Cairan akan mengikuti bentuk wadahnya dan membentuk permukaan bebas jika ada gaya gravitasi.
- Gas akan mengembang hingga menyentuh dinding wadah dan mengisi seluruh ruang yang tersedia.
- Gas tidak dapat membentuk permukaan bebas.
- Gas dan uap sering digunakan sebagai kata sinonim.

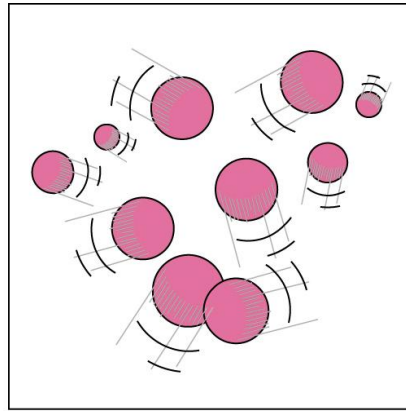




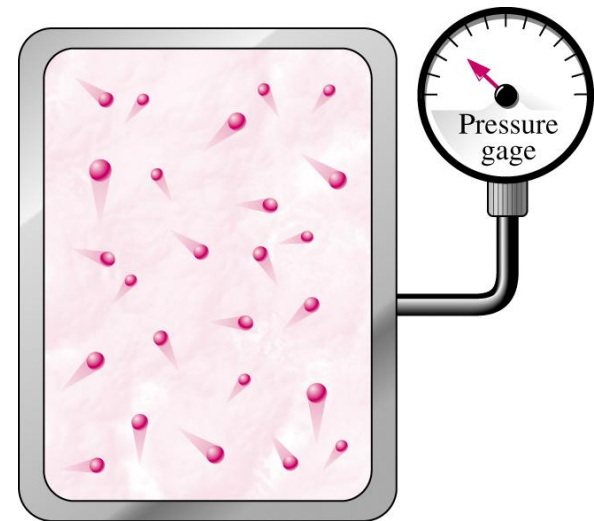
(a)



(b)

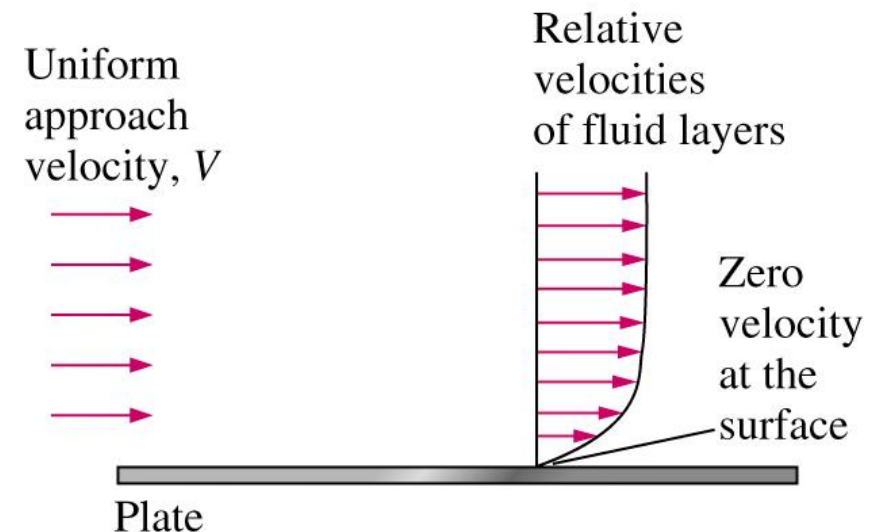
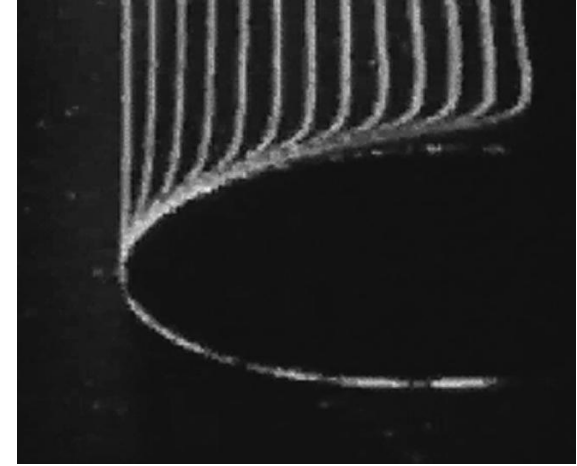


(c)



Kondisi Tanpa Selip pada Aliran Fluida (No-Slip Condition)

- Kondisi tanpa selip: Cairan yang bersentuhan langsung dengan benda padat "menempel" ke permukaan karena efek viskos
- Bertanggung jawab atas pembentukan tegangan geser dinding τ_w , hambatan permukaan $D = \int \tau_w dA$, dan pengembangan lapisan batas
- Sifat cairan yang bertanggung jawab atas kondisi tanpa selip adalah viskositas
- Kondisi batas penting dalam merumuskan masalah nilai batas awal (IBVP) untuk analisis dinamika fluida analitik dan komputasional



- Persamaan diferensial parsial yang mengatur mekanika fluida, dikenal sebagai persamaan Navier-Stokes.

- Conservation of Mass

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0$$

- Conservation of Momentum

$$\rho \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + (\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U} = -\nabla p + \rho \mathbf{g} + \mu \nabla^2 \mathbf{U}$$

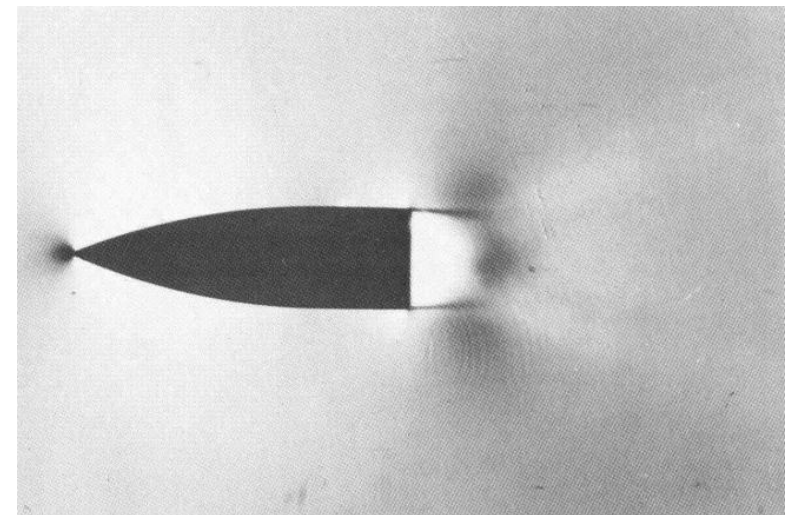
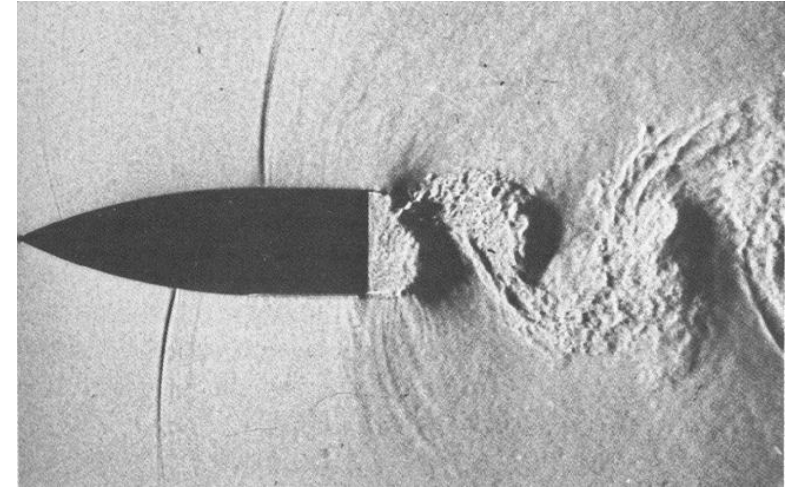
Classification of Fluid Flows

Steady versus Unsteady Flow

- Istilah stabil (*steady*) sering digunakan dalam bidang teknik, oleh karena itu penting untuk memiliki pemahaman yang jelas tentang maknanya.

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

- Istilah stabil menyiratkan tidak adanya perubahan pada suatu titik seiring waktu.
- Lawan kata dari stabil adalah tidak stabil.



Classification of Fluid Flows

1) Aliran seragam; aliran stabil

- Jika kita melihat fluida yang mengalir dalam keadaan normal -misalnya sungai - kondisi (misalnya: kecepatan, tekanan) di suatu titik akan berbeda dengan kondisi di titik lain, maka kita mempunyai aliran yang tidak seragam.
- Jika kondisi pada suatu titik berubah-ubah seiring berjalannya waktu, maka kita mengalami aliran tidak tunak.
- **Aliran seragam:** Jika kecepatan aliran sama besar dan arahnya di setiap titik aliran maka dikatakan seragam. Artinya, kondisi aliran TIDAK berubah seiring dengan posisi.
- **Tidak seragam:** Jika pada suatu saat kecepatannya tidak sama di setiap titik maka alirannya tidak seragam.

Classification of Fluid Flows

- **Mantap**: Aliran tunak adalah aliran yang kondisinya (kecepatan, tekanan, dan luas penampang) mungkin berbeda dari satu titik ke titik lain namun TIDAK berubah terhadap waktu.
- **Tidak tunak**: Jika suatu titik dalam fluida, kondisinya berubah terhadap waktu, maka alirannya dikatakan tidak tunak.
- Dengan menggabungkan hal-hal di atas, kita dapat mengklasifikasikan aliran apa pun ke dalam salah satu dari empat jenis:
- **Aliran seragam yang stabil**. Kondisi tidak berubah seiring dengan posisi di sungai atau seiring berjalannya waktu. Contohnya adalah aliran air dalam pipa yang diameternya tetap dan kecepatannya tetap.

Classification of Fluid Flows

- **Aliran tidak seragam yang stabil.** Kondisi berubah dari satu titik ke titik lain dalam aliran tetapi tidak berubah seiring waktu. Contohnya adalah aliran dalam pipa meruncing dengan kecepatan konstan di saluran masuk - kecepatan akan berubah seiring Anda bergerak sepanjang pipa menuju pintu keluar
- **Aliran seragam yang tidak tunak.** Pada saat tertentu, kondisi di setiap titik adalah sama, namun akan berubah seiring berjalannya waktu. Contohnya adalah pipa berdiameter konstan yang dihubungkan ke pompa yang memompa dengan laju konstan yang kemudian dimatikan.
- **Aliran tidak seragam yang tidak stabil.** Setiap kondisi aliran dapat berubah dari titik ke titik dan seiring waktu di setiap titik. Contohnya adalah gelombang permukaan pada saluran terbuka.

Classification of Fluid Flows

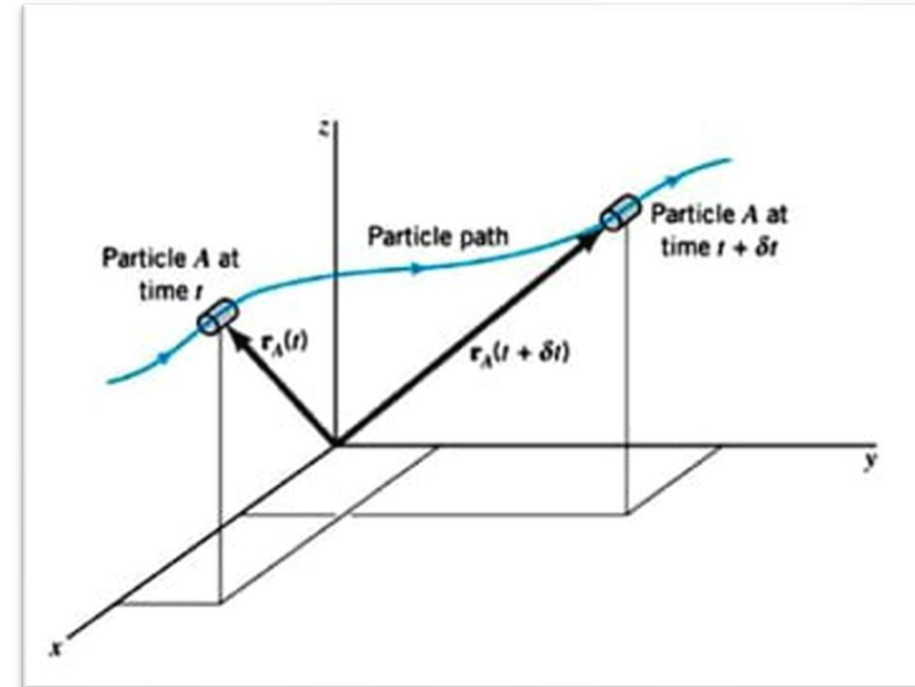
2) Aliran satu, dua, dan tiga dimensi

- Aliran fluida secara umum merupakan fenomena tiga dimensi, spasial dan bergantung pada waktu: $-V=V(r,t)=u(r,t)i+v(r,t)j+w(r,t)k$
- Dimana $r = (x, y, z)$ adalah vektor posisi, (i,j,k) adalah vector satuan pada koordinat Cartesian, dan (u, v, w) adalah komponen kecepatan pada arah tersebut
- Sebagaimana didefinisikan di atas, aliran akan seragam jika komponen kecepatan tidak bergantung pada posisi spasial (x, y, z) dan akan tunak jika komponen kecepatan tidak bergantung pada waktu t .

Classification of Fluid Flows

2) Aliran satu, dua, dan tiga dimensi

- Oleh karena itu, suatu aliran fluida disebut tiga dimensi jika ketiga komponen kecepatannya sama pentingnya.
- Masalah aliran tiga dimensi akan mempunyai karakter paling kompleks dan paling sulit dipecahkan.

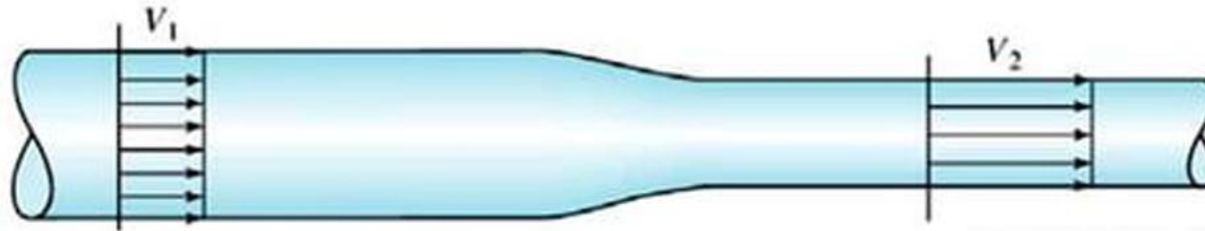


Classification of Fluid Flows

- Untungnya, dalam banyak aplikasi teknik, aliran dapat dianggap sebagai aliran dua dimensi.
- Dalam situasi seperti ini, salah satu komponen kecepatan (katakanlah, w) sama dengan nol atau jauh lebih kecil dibandingkan dua komponen lainnya, dan kondisi aliran pada dasarnya hanya bervariasi dalam dua arah (katakanlah, x dan y).
- Oleh karena itu, kecepatan direduksi menjadi $V = u\mathbf{i} + v\mathbf{j}$ Dimana (u, v) adalah fungsi dari (x, y) (dan mungkin t).
- Kadang-kadang analisis aliran dapat disederhanakan dengan mengasumsikan bahwa dua komponen kecepatan dapat diabaikan, sehingga medan kecepatan dapat didekati sebagai medan aliran satu dimensi.
- Artinya, $V = u\mathbf{i}$ dimana kecepatan u dapat bervariasi di seluruh bagian aliran.

Classification of Fluid Flows

- Contoh yang umum adalah aliran yang berkembang penuh dalam pipa seragam panjang dan saluran terbuka.
- Permasalahan aliran satu dimensi saja yang diperlukan analisis dasar, dan dapat diselesaikan secara analitis dalam banyak kasus.



- Gambar. Aliran ideal satu dimensi sepanjang pipa, dimana
- kecepatannya seragam di seluruh bagian pipa.

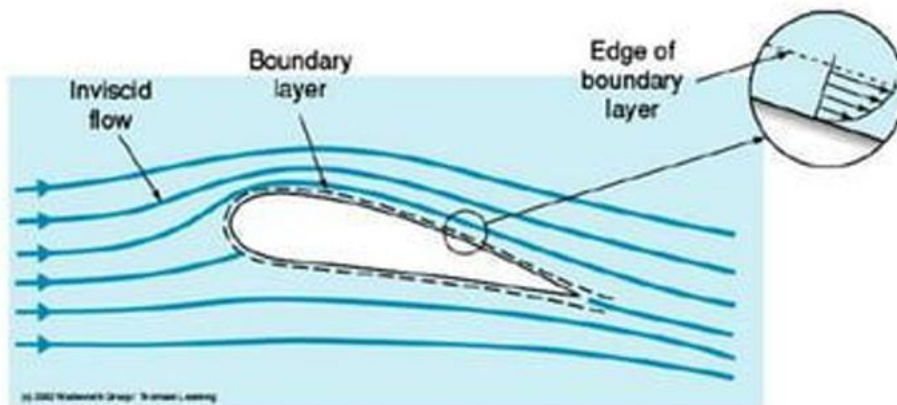
Classification of Fluid Flows

3) Aliran kental dan tidak kental

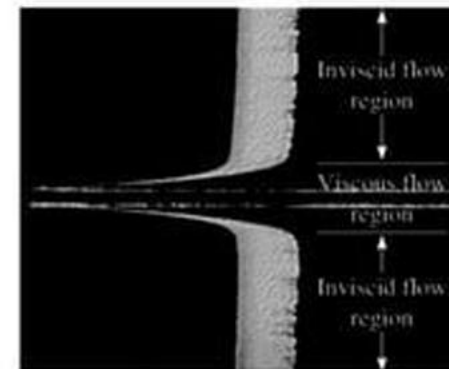
- Aliran inviscid adalah aliran yang pengaruh viskosnya tidak mempengaruhi aliran secara signifikan sehingga dapat diabaikan.
- Jika tegangan geser dalam suatu aliran kecil dan terjadi pada area yang sangat kecil sehingga tidak mempengaruhi medan aliran secara signifikan, maka aliran tersebut dapat diasumsikan sebagai aliran tak kental.
- Dalam aliran viskos, pengaruh viskositas merupakan hal yang penting dan tidak dapat diabaikan.
- Berdasarkan pengalaman, ditemukan bahwa golongan utama aliran, yang dapat dimodelkan sebagai aliran tak kental, adalah aliran eksternal, yaitu aliran fluida tak terikat yang berada di luar suatu benda. Setiap efek kental yang mungkin ada terbatas pada lapisan tipis, yang disebut lapisan batas, yang melekat pada batas tersebut.

Classification of Fluid Flows

- Kecepatan pada lapisan batas selalu nol pada dinding tetap, akibat dari viskositas.
- Pada banyak situasi aliran, lapisan batas sangat tipis sehingga dapat diabaikan begitu saja ketika mempelajari ciri-ciri aliran di sekitar benda ramping



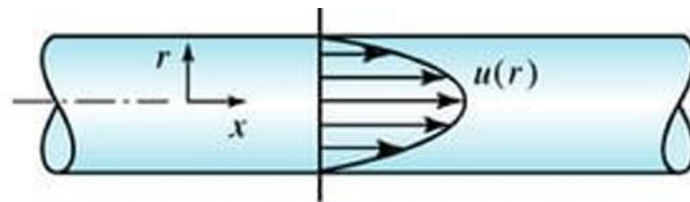
External flow around an airfoil.



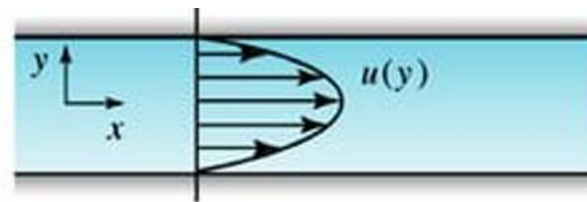
Viscous flow in a boundary layer.

Classification of Fluid Flows

- Aliran kental mencakup berbagai jenis aliran internal, seperti aliran dalam pipa, mesin hidrolis, saluran, dan saluran terbuka.
- Pada aliran seperti itu, efek viskos menyebabkan "kerugian" yang besar dan menyebabkan sejumlah besar energi yang harus digunakan untuk mengangkut minyak dan gas melalui pipa. Kondisi tanpa selip yang mengakibatkan kecepatan nol pada dinding, dan tegangan geser yang diakibatkannya, menyebabkan kerugian ini secara langsung.



(a) (c) 2002 Westcott Group / Thomson Learning



(b)

Viscous internal flow: (a) in a pipe; (b) between two parallel plates.

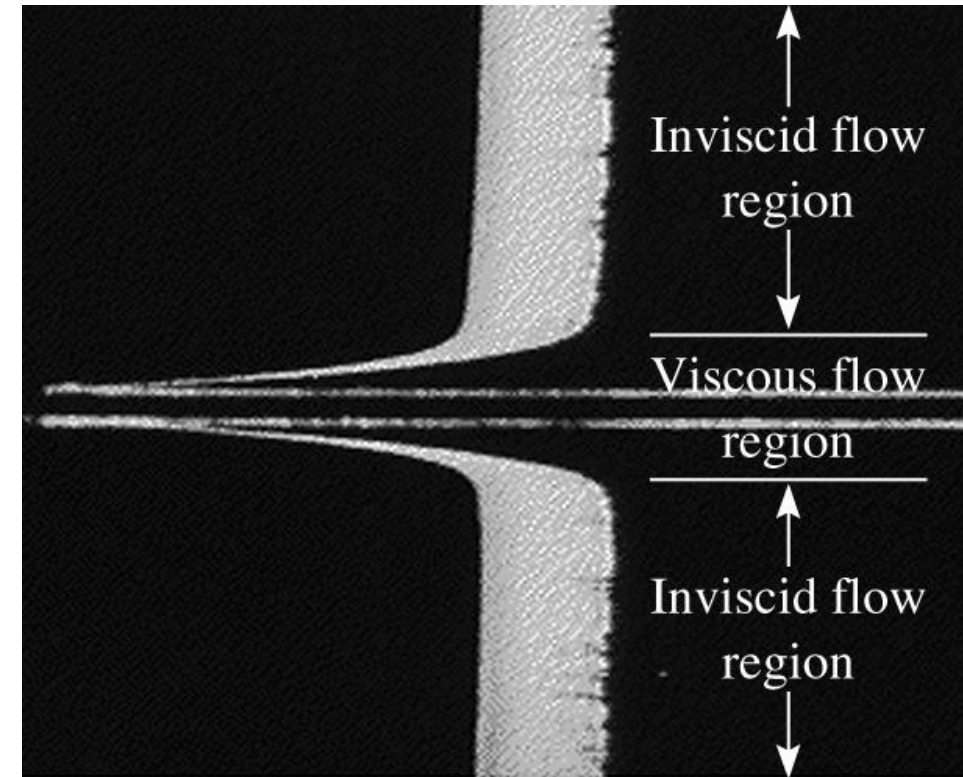
Classification of Fluid Flows

- **Viscous versus Inviscid Regions of Flow**

- Ketika dua lapisan fluida bergerak relatif satu sama lain, timbul gaya gesekan di antara keduanya dan lapisan yang lebih lambat mencoba memperlambat lapisan yang lebih cepat.
- Hambatan internal terhadap aliran ini diukur dengan viskositas properti fluida, yang merupakan ukuran kelengketan internal fluida.
- Viskositas disebabkan oleh gaya kohesif antar molekul dalam cairan dan tumbukan molekul dalam gas.

For inviscid flows:

$$\rho \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + (\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U} = -\nabla p + \rho \mathbf{g} + \cancel{\mu \nabla^2 \mathbf{U}}^0$$



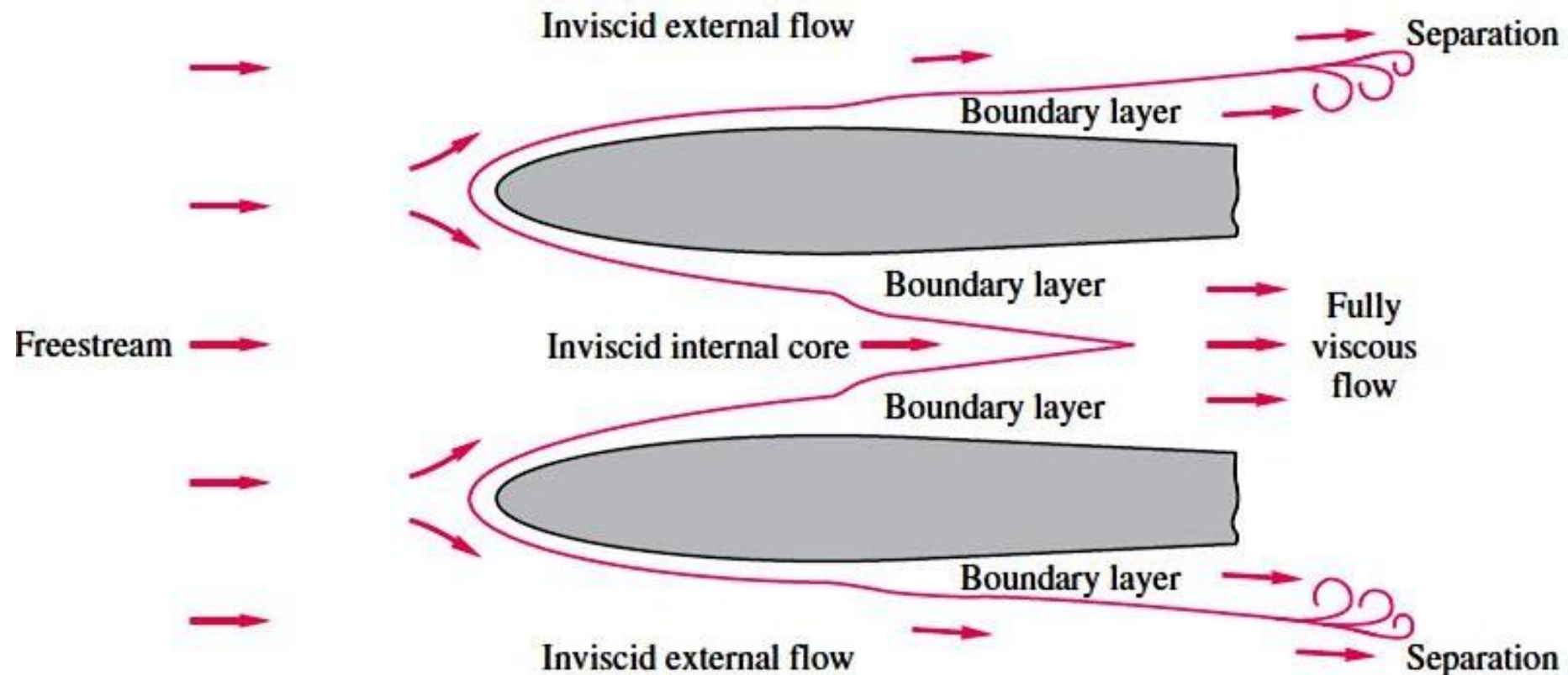
Classification of Fluid Flows

- **Viscous versus Inviscid Regions of Flow**

- Tidak ada fluida dengan viskositas nol, dan dengan demikian semua aliran fluida melibatkan efek kental sampai tingkat tertentu.
- Aliran yang mempunyai pengaruh gesekan yang signifikan disebut aliran viskos.
- Namun, dalam banyak aliran yang memiliki kepentingan praktis, terdapat wilayah (biasanya wilayah yang tidak dekat dengan permukaan padat) di mana gaya viskos sangat kecil dibandingkan dengan gaya inersia atau tekanan.
- Mengabaikan istilah viskos pada daerah aliran inviscid akan sangat menyederhanakan analisis tanpa kehilangan banyak akurasi.

Classification of Fluid Flows

- **Viscous versus Inviscid Regions of Flow**



Classification of Fluid Flows

4) Aliran yang tidak dapat dimampatkan dan dapat dimampatkan

- Semua fluida bersifat kompresibel – bahkan air, kepadatannya akan – Berubah seiring perubahan tekanan. Dalam kondisi tunak, dan asalkan perubahan tekanannya kecil, analisis aliran biasanya dapat disederhanakan dengan mengasumsikan aliran tersebut tidak dapat dimampatkan dan mempunyai massa jenis yang konstan.
- Seperti yang sudah Anda ketahui, zat cair cukup sulit untuk dikompres sehingga pada sebagian besar kondisi stabil, zat cair dianggap tidak dapat dimampatkan. Dalam beberapa kondisi tidak stabil, perbedaan tekanan yang sangat tinggi dapat terjadi dan hal ini perlu diperhitungkan - bahkan untuk cairan.
- Sebaliknya, gas sangat mudah dikompresi. Dalam kasus aliran berkecepatan tinggi, gas harus diperlakukan sebagai gas yang dapat dikompresi, dengan mempertimbangkan perubahan tekanan.

Classification of Fluid Flows

- Aliran gas berkecepatan rendah, seperti aliran atmosfer yang disebutkan di atas, juga dianggap sebagai aliran yang tidak dapat dimampatkan.
- Bilangan Mach didefinisikan sebagai $M = \frac{V}{c}$
- dimana V adalah kecepatan gas dan c adalah kecepatan suara.
- Angka Mach berguna dalam menentukan apakah suatu aliran gas tertentu dapat dipelajari sebagai aliran yang tidak dapat dimampatkan. Jika $M < 0,3$, variasi densitas paling banyak 3% dan aliran diasumsikan tidak dapat dimampatkan; untuk udara standar ini setara dengan kecepatan di bawah sekitar 100 m/s.
- Jika $M > 0,3$, variasi densitas mempengaruhi aliran dan efek kompresibilitas harus diperhitungkan.

Classification of Fluid Flows

Compressible versus Incompressible Flow

- Suatu aliran diklasifikasikan menjadi dapat dimampatkan atau tidak dapat dimampatkan, bergantung pada tingkat variasi densitas selama aliran.
- Inkompresibilitas adalah suatu perkiraan, dan suatu aliran dikatakan tidak dapat dimampatkan jika massa jenisnya hampir konstan sepanjang aliran.
- Oleh karena itu, volume setiap bagian fluida tetap tidak berubah sepanjang gerakannya ketika aliran (atau fluida) tidak dapat dimampatkan.
- Massa jenis zat cair pada dasarnya konstan, sehingga aliran zat cair biasanya tidak dapat dimampatkan. Oleh karena itu, zat cair biasanya disebut sebagai zat yang tidak dapat dimampatkan



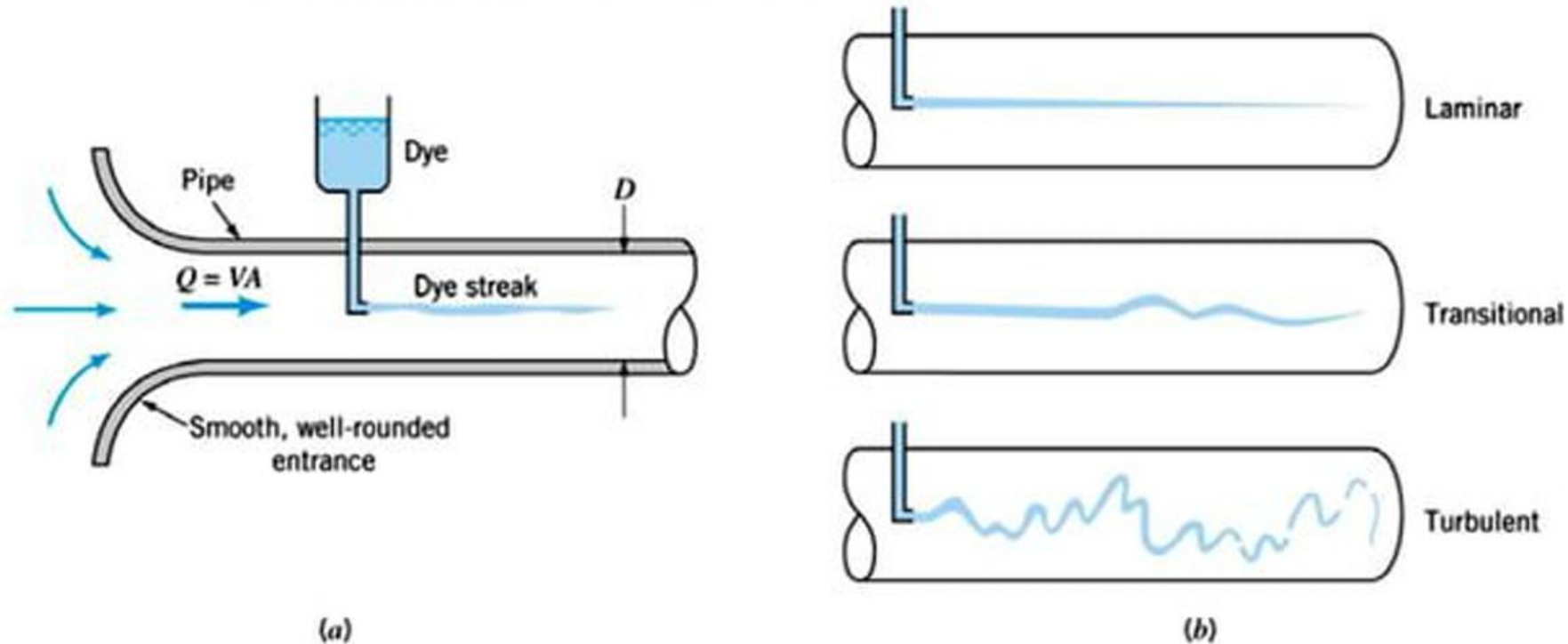
Classification of Fluid Flows

Compressible versus Incompressible Flow...

- Tekanan 210 atm, misalnya, menyebabkan massa jenis air cair pada 1 atm berubah hanya 1 persen.
- Sebaliknya, gas sangat mudah dikompresi. Perubahan tekanan sebesar 0,01 atm saja, misalnya, menyebabkan perubahan kepadatan udara atmosfer sebesar 1 persen.
- Aliran gas seringkali dapat dianggap tidak dapat dimampatkan jika perubahan densitasnya di bawah sekitar 5 persen.
- Efek kompresibilitas udara dapat diabaikan pada kecepatan di bawah 100 m/s.

Classification of Fluid Flows

5) Laminar and turbulent flows



- In the experiment shown above, a dye is injected into the middle of pipe flow of water. The dye streaks will vary, as shown in (b), depending on the flow rate in the pipe.

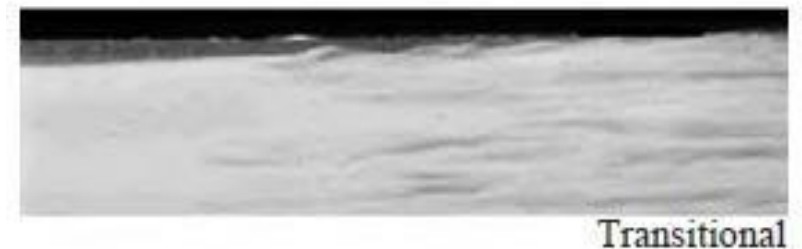
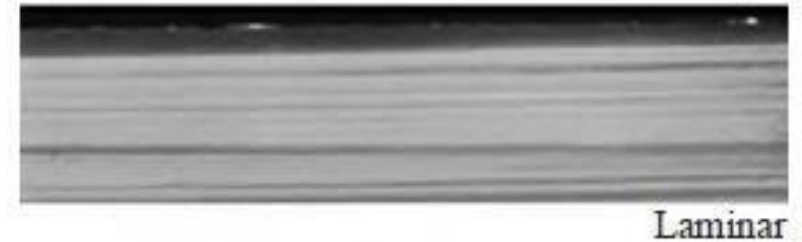
Classification of Fluid Flows

- Situasi di puncak disebut aliran laminar, dan situasi di bawah disebut aliran turbulen, yang terjadi ketika aliran cukup lambat dan cepat.
- Pada aliran laminar gerak partikel-partikel fluida sangat teratur dengan semua partikel bergerak dalam garis lurus sejajar dengan dinding pipa. Pada dasarnya tidak ada pencampuran partikel fluida yang berdekatan.
- Sebaliknya, pencampuran sangat signifikan dalam aliran turbulen, dimana partikel fluida bergerak sembarangan ke segala arah.
- Oleh karena itu tidak mungkin melacak pergerakan partikel individu dalam aliran turbulen.

Classification of Fluid Flows

Laminar versus Turbulent Flow

- Beberapa arus lancar dan teratur, sementara arus lainnya agak kacau.
- Gerak fluida yang sangat teratur yang ditandai dengan lapisan fluida yang halus disebut laminar.
- Aliran fluida dengan viskositas tinggi seperti minyak pada kecepatan rendah biasanya bersifat laminar.
- Gerakan fluida yang sangat tidak teratur yang biasanya terjadi pada kecepatan tinggi dan ditandai dengan fluktuasi kecepatan disebut turbulen.



Classification of Fluid Flows

- Whether the flow is laminar or not depends on the Reynolds number,

$$\text{Re} \equiv \frac{\rho \bar{V} d}{\mu}$$

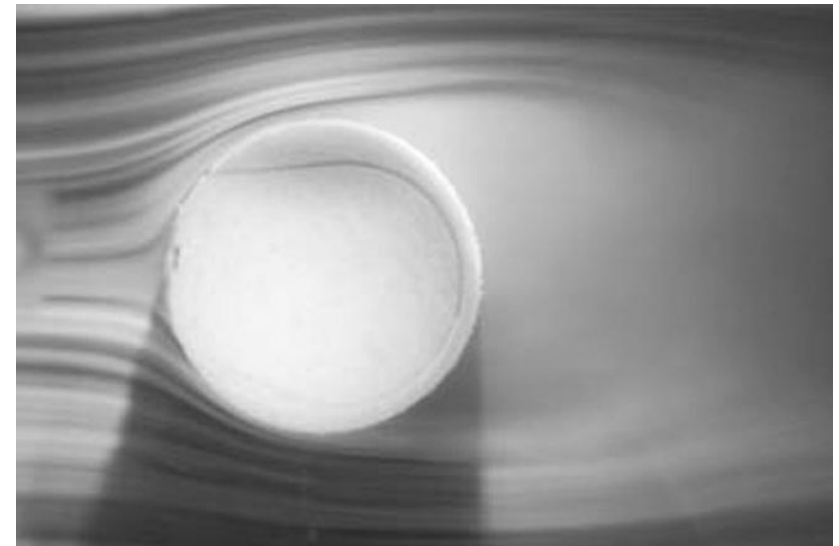
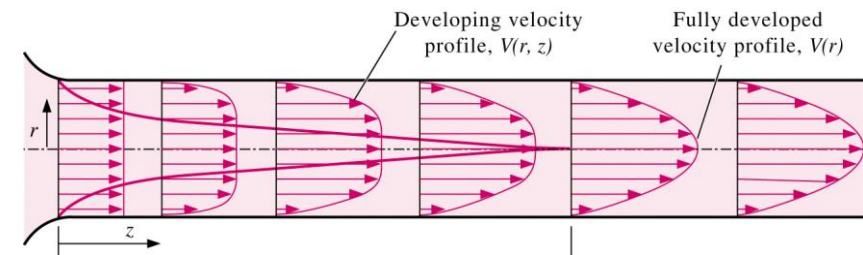
$\rho = \text{density}$, $\mu = \text{viscosity}$, $\bar{V} = \text{section-mean velocity}$, $d = \text{diameter of pipe}$

- and it has been demonstrated experimentally that

$$\text{Re} \begin{cases} < 2,000 & \text{laminar flow} \\ \text{between } 2,000 \text{ and } 4,000 & \text{transitional flow} \\ > 4,000 & \text{turbulent flow} \end{cases}$$

Classification of Fluid Flows

- **Internal versus External Flow**
- Aliran fluida diklasifikasikan menjadi internal atau eksternal, bergantung pada apakah fluida tersebut dipaksa mengalir dalam saluran terbatas atau di atas permukaan.
- Aliran fluida tak terbatas pada suatu permukaan seperti pelat, kawat, atau pipa adalah **aliran luar**.
- Aliran dalam suatu pipa atau saluran merupakan **aliran internal** jika fluida dibatasi seluruhnya oleh permukaan padat.
- Aliran air dalam pipa, misalnya, adalah aliran internal, dan aliran udara melalui bola atau pipa terbuka pada saat cuaca berangin adalah aliran eksternal.



Classification of Fluid Flows

Natural (or Unforced) versus Forced Flow

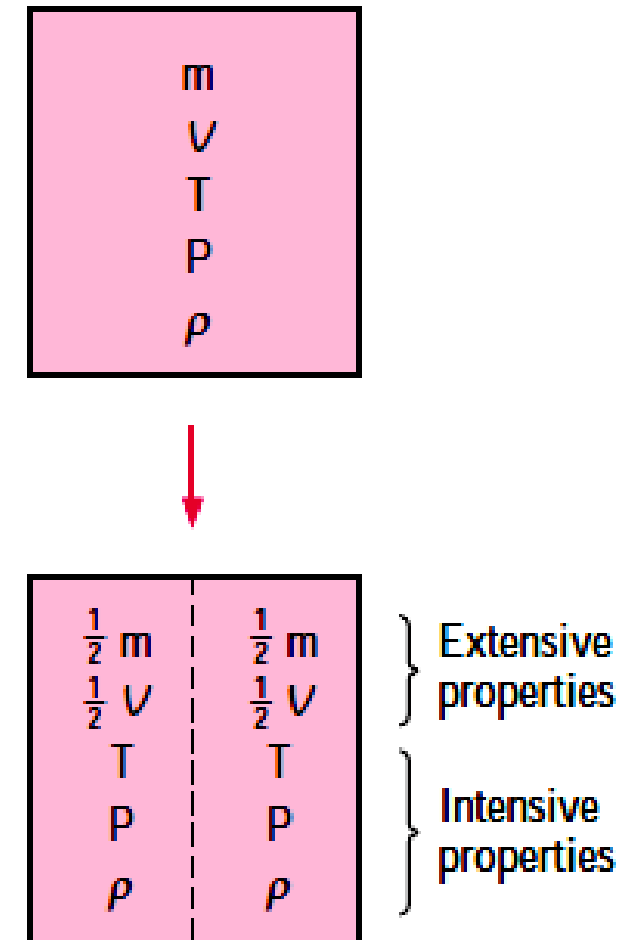
- Aliran fluida dikatakan alami atau paksa, bergantung pada bagaimana gerak fluida itu dimulai.
- Dalam aliran paksa, fluida dipaksa mengalir di atas suatu permukaan atau ke dalam pipa dengan cara eksternal seperti pompa atau kipas angin.
- Dalam aliran alami, setiap pergerakan fluida disebabkan oleh faktor alami seperti efek daya apung, yang memanifestasikan dirinya sebagai naiknya fluida yang lebih hangat (yang lebih ringan) dan turunnya fluida yang lebih dingin (yang lebih padat).
- Dalam sistem air panas tenaga surya, misalnya, efek termosifoning biasanya digunakan untuk menggantikan pompa dengan menempatkan tangki air secukupnya di atas kolektor surya.

Properties of Fluids

- Setiap karakteristik suatu sistem disebut properti.
- Beberapa sifat yang familiar adalah tekanan P , suhu T , volume V , dan massa m .
- Sifat lain yang kurang dikenal termasuk viskositas, konduktivitas termal, modulus elastisitas, koefisien muai panas, resistivitas listrik, dan bahkan kecepatan dan ketinggian.
- Properti dianggap intensif atau ekstensif.
- Sifat intensif adalah sifat yang tidak bergantung pada massa suatu sistem, seperti suhu, tekanan, dan kepadatan.
- Properti ekstensif adalah properti yang nilainya bergantung pada ukuran—atau luas—sistem. Massa total, volume total V , dan momentum total adalah beberapa contoh sifat ekstensif.

Properties of Fluids

- Cara mudah untuk menentukan apakah suatu properti termasuk intensif atau ekstensif adalah dengan membagi sistem menjadi dua bagian yang sama dengan menggunakan partisi imajiner.
- Setiap bagian akan mempunyai nilai sifat intensif yang sama dengan sistem aslinya, tetapi separuh nilai sifat ekstensifnya.



Properties of Fluids

Density or Mass Density

- Massa jenis atau massa jenis suatu fluida didefinisikan sebagai perbandingan antara massa suatu cairan dengan volumenya. Jadi massa per satuan volume suatu fluida disebut massa jenis. Ini dilambangkan dengan simbol ρ (rho). Satuan massa jenis dalam satuan SI adalah kg per meter kubik, yaitu kg/m³.
- Massa jenis zat cair dapat dianggap konstan sedangkan massa jenis gas berubah seiring dengan variasi tekanan dan suhu.
- Secara matematis massa jenis massa ditulis sebagai:

$$\rho = \frac{\text{Mass of fluid}}{\text{Volume of fluid}}$$

Properties of Fluids

Density or Mass Density

- Massa jenis suatu zat pada umumnya bergantung pada suhu dan tekanan.
- Massa jenis sebagian besar gas sebanding dengan tekanan dan berbanding terbalik dengan suhu.
- Sebaliknya, zat cair dan padat pada dasarnya adalah zat yang tidak dapat dimampatkan, dan variasi massa jenisnya terhadap tekanan biasanya dapat diabaikan.

Properties of Fluids

Specific weight or Weight Density

- Berat jenis atau massa jenis suatu zat cair adalah perbandingan antara berat suatu zat cair dengan volumenya.
- Jadi berat per satuan volume suatu zat cair disebut berat padatan dan dilambangkan dengan simbol w .

- Secara matematis,

$$\begin{aligned}w &= \frac{\text{Weight of fluid}}{\text{Volume of fluid}} = \frac{(\text{Mass of fluid}) \times \text{Acceleration due to gravity}}{\text{Volume of fluid}} \\&= \frac{\text{Mass of fluid} \times g}{\text{Volume of fluid}} \\&= \rho \times g \\w &= \rho g\end{aligned}$$

Properties of Fluids

Specific Volume

- Volume spesifik suatu fluida didefinisikan sebagai volume suatu fluida yang ditempati oleh satuan massa atau volume per satuan massa suatu fluida disebut volume spesifik.
- Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Specific volume} = \frac{\text{Volume of fluid}}{\text{Mass of fluid}} = \frac{1}{\frac{\text{Mass of fluid}}{\text{Volume}}} = \frac{1}{\rho}$$

- Jadi volume spesifik adalah kebalikan dari kepadatan massa. Dinyatakan dalam m³/kg.
- Ini biasanya diterapkan pada gas.

Properties of Fluids

Specific Gravity.

- Berat jenis didefinisikan sebagai rasio massa jenis (atau massa jenis) suatu fluida terhadap massa jenis (atau massa jenis) fluida standar.
- Untuk zat cair, fluida standarnya diambil air, dan untuk gas, fluida standarnya diambil udara. Berat jenis juga disebut kepadatan relatif. Besaran tak berdimensi dan dilambangkan dengan simbol S .

$$S(\text{for liquids}) = \frac{\text{Weight density (density) of liquid}}{\text{Weight density (density) of water}}$$

$$S(\text{for gases}) = \frac{\text{Weight density (density) of gas}}{\text{Weight density (density) of air}}$$

$$\begin{aligned}\text{Thus weight density of a liquid} &= S \times \text{Weight density of water} \\ &= S \times 1000 \times 9.81 \text{ N/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Thus density of a liquid} &= S \times \text{Density of water} \\ &= S \times 1000 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Properties of Fluids

Specific Gravity.

- Jika berat jenis suatu zat cair diketahui, maka massa jenis zat cair tersebut akan sama dengan berat jenis zat cair dikalikan dengan massa jenis air.
- Misalnya berat jenis merkuri adalah 13,6, maka massa jenis merkuri = $13,6 \times 1000 = 13600 \text{ kg/m}^3$.

Specific gravities of some substances at 0°C

Substance	SG
Water	1.0
Blood	1.05
Seawater	1.025
Gasoline	0.7
Ethyl alcohol	0.79
Mercury	13.6
Wood	0.3–0.9
Gold	19.2
Bones	1.7–2.0
Ice	0.92
Air (at 1 atm)	0.0013

Properties of Fluids

Example 1.

Calculate the specific weight, density and specific gravity of one liter of a liquid which weighs 7 N.

Solution. Given :

$$\text{Volume} = 1 \text{ litre} = \frac{1}{1000} \text{ m}^3 \quad \left(\because 1 \text{ litre} = \frac{1}{1000} \text{ m}^3 \text{ or } 1 \text{ litre} = 1000 \text{ cm}^3 \right)$$

$$\text{Weight} = 7 \text{ N}$$

$$(i) \text{ Specific weight } (w) = \frac{\text{Weight}}{\text{Volume}} = \frac{7 \text{ N}}{\left(\frac{1}{1000}\right) \text{ m}^3} = 7000 \text{ N/m}^3. \text{ Ans.}$$

$$(ii) \text{ Density } (\rho) = \frac{w}{g} = \frac{7000}{9.81} \text{ kg/m}^3 = 713.5 \text{ kg/m}^3. \text{ Ans.}$$

$$(iii) \text{ Specific gravity} = \frac{\text{Density of liquid}}{\text{Density of water}} = \frac{713.5}{1000} \quad \{ \because \text{Density of water} = 1000 \text{ kg/m}^3 \}$$
$$= 0.7135. \text{ Ans.}$$

Example 2. Calculate the density, specific weight and weight of one liter of petrol of specific gravity = 0.7

Solution. Given : Volume = 1 litre = $1 \times 1000 \text{ cm}^3 = \frac{1000}{10^6} \text{ m}^3 = 0.001 \text{ m}^3$

Sp. gravity $S = 0.7$

(i) Density (ρ)

Density (ρ) $= S \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 0.7 \times 1000 = 700 \text{ kg/m}^3$. Ans.

(ii) Specific weight (w)

$w = \rho \times g = 700 \times 9.81 \text{ N/kg} = 6867 \text{ N/m}^3$. Ans.

(iii) Weight (W)

We know that specific weight $= \frac{\text{Weight}}{\text{Volume}}$

or $w = \frac{W}{0.001}$ or $6867 = \frac{W}{0.001}$

\therefore

$W = 6867 \times 0.001 = 6.867 \text{ N}$. Ans.

Properties of Fluids

Viscosity

- Viskositas didefinisikan sebagai sifat suatu fluida yang memberikan ketahanan terhadap pergerakan satu lapisan fluida di atas lapisan fluida lain yang berdekatan.
- Ketika dua lapisan fluida yang berjarak ' dy ' saling bergerak satu sama lain dengan kecepatan yang berbeda, katakanlah u dan $u + du$ seperti ditunjukkan pada Gambar.1.1 , viskositas bersama dengan kecepatan relatif menyebabkan tegangan geser yang bekerja antara lapisan fluida:

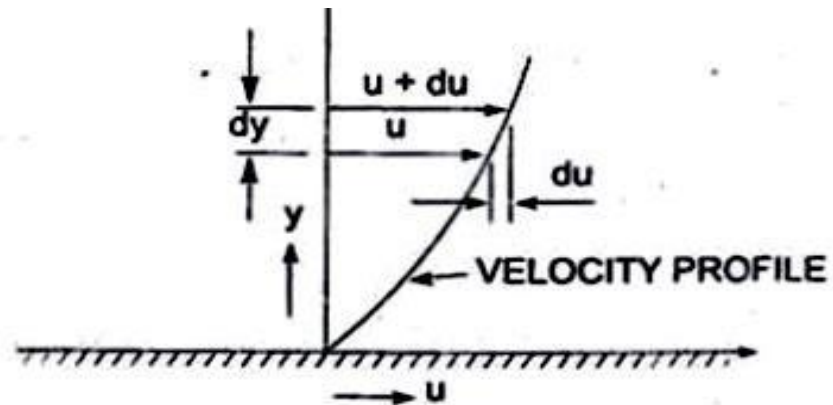


Fig. 1.1 *Velocity variation near a solid boundary.*

Properties of Fluids

Viscosity

- Lapisan atas menyebabkan tegangan geser pada lapisan bawah yang berdekatan, sedangkan lapisan bawah menyebabkan tegangan geser pada lapisan atas yang berdekatan.
- Tegangan geser ini sebanding dengan laju perubahan kecepatan terhadap y . Dilambangkan dengan simbol τ yang disebut Tau.
- Secara matematis,

$$\tau \propto \frac{du}{dy}$$

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.2)$$

Properties of Fluids

- dimana μ (disebut mu) adalah konstanta proporsionalitas dan dikenal sebagai koefisien viskositas dinamis atau viskositas saja.
- $\frac{du}{dy}$ mewakili laju regangan geser atau laju geser

$$\mu = \frac{T}{\frac{du}{dy}} \quad (1.3)$$

- Jadi viskositas juga didefinisikan sebagai tegangan geser yang diperlukan untuk menghasilkan laju satuan regangan geser.

Properties of Fluids

Unit of Viscosity.

- Satuan viskositas diperoleh dengan memasukkan dimensi besaran ke dalam persamaan (1.3)

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{\text{Shear stress}}{\frac{\text{Change of velocity}}{\text{Change of distance}}} = \frac{\text{Force/Area}}{\left(\frac{\text{Length}}{\text{Time}}\right) \times \frac{1}{\text{Length}}} \\ &= \frac{\text{Force}/(\text{length})^2}{\frac{1}{\text{Time}}} = \frac{\text{Force} \times \text{Time}}{(\text{Length})^2} \\ \text{SI unit of viscosity} &= \frac{\text{Newton second}}{\text{m}^2} = \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}\end{aligned}$$

Properties of Fluids

Kinematic Viscosity.

- Ini didefinisikan sebagai rasio antara viskositas dinamis dan kepadatan fluida. Ini dilambangkan dengan simbol Yunani (ν) yang disebut 'nu'. Jadi, secara matematis,

$$\nu = \frac{\text{Viscosity}}{\text{Density}} = \frac{\mu}{\rho}$$

- Satuan SI untuk viskositas kinematik adalah m^2/s .

Newton's Law of Viscosity.

- Dinyatakan bahwa tegangan geser (τ) pada suatu lapisan elemen fluida berbanding lurus dengan laju regangan geser. Konstanta proporsionalitas disebut koefisien viskositas. Secara matematis dinyatakan seperti yang diberikan oleh persamaan (1.2).

Properties of Fluids

- Fluida yang memenuhi hubungan di atas disebut **fluida Newtonian**, dan fluida yang tidak memenuhi hubungan di atas disebut fluida **Non-newtonian**.

Variation of Viscosity with Temperature

- Suhu mempengaruhi viskositas.
- Viskositas zat cair berkurang seiring dengan kenaikan suhu, sedangkan viskositas gas meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Hal ini disebabkan karena gaya viskos dalam suatu fluida disebabkan oleh gaya kohesif dan transfer momentum molekul.
- Dalam cairan, gaya kohesif mendominasi perpindahan momentum molekul karena molekul-molekul yang tersusun rapat dan dengan meningkatnya suhu, gaya kohesif menurun sehingga viskositasnya menurun.

Properties of Fluids

- Namun dalam kasus gas, gaya kohesifnya kecil dan transfer momentum molekul mendominasi. Dengan meningkatnya suhu, perpindahan momentum molekul meningkat dan karenanya viskositas meningkat. Hubungan antara viskositas dan suhu zat cair dan gas adalah:

(i) For liquids, $\mu = \mu_0 \left(\frac{1}{1 + at + \beta t^2} \right)$

where μ = Viscosity of liquid at $t^\circ\text{C}$, in poise $1 \text{ poise} = \frac{1}{10} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$

μ_0 = Viscosity of liquid at 0°C , in poise

a, β = are constants for the liquid

For water, $\mu_0 = 1.79 \times 10^{-3} \text{ poise}$, $a = 0.03368$ and $\beta = 0.000221$

$\mu = \mu_0 + at - \beta t^2$

(ii) For a gas,

where for air $\mu_0 = 0.000017$, $a = 0.00000003$, $\beta = 0.1189 \times 10^{-9}$

Types of Fluids

- **Ideal Fluid.** Fluida yang tidak dapat dimampatkan dan tidak memiliki viskositas disebut fluida ideal. Fluida ideal hanyalah fluida imajiner karena semua fluida yang ada mempunyai viskositas tertentu.
- **Real fluid.** Fluida yang mempunyai kekentalan disebut cairan nyata. Semua fluida: dalam praktiknya, adalah fluida nyata.
- **Newtonian Fluid.** Fluida nyata, yang tegangan gesernya berbanding lurus dengan laju regangan geser (atau gradien kecepatan), dikenal sebagai fluida Newton.
- **Non-Newtonian fluid.** Fluida nyata yang tegangan gesernya tidak sebanding dengan laju regangan geser (atau gradien kecepatan), dikenal sebagai fluida Non-Newtonian.

Types of Fluids

- **Ideal Plastic Fluid** : Suatu fluida yang tegangan gesernya lebih besar dari nilai lelehnya dan tegangan gesernya sebanding dengan laju regangan geser (atau gradien kecepatan), disebut fluida plastis ideal.

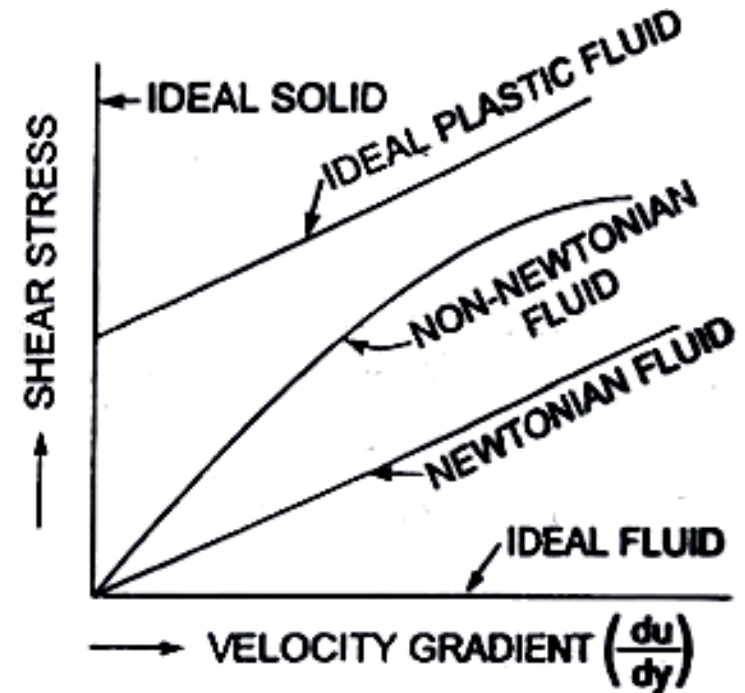


Fig. 1.2 *Types of fluids.*

Example 3

If the velocity distribution over a plate is given by

$$u = \frac{2}{3}y - y^2$$

in which u is velocity in metre per second at a distance y metre above the plate, determine the shear stress at $y = 0$ and $y = 0.15$ m. Take dynamic viscosity of fluid as 8.63 poises.

Solution. Given : $u = \frac{2}{3}y - y^2 \quad \therefore \quad \frac{du}{dy} = \frac{2}{3} - 2y$

$$\left(\frac{du}{dy}\right)_{\text{at } y=0} \text{ or } \left(\frac{du}{dy}\right)_{y=0} = \frac{2}{3} - 2(0) = \frac{2}{3} = 0.667$$

Also $\left(\frac{du}{dy}\right)_{\text{at } y=0.15} \text{ or } \left(\frac{du}{dy}\right)_{y=0.15} = \frac{2}{3} - 2 \times .15 = .667 - .30 = 0.367$

Value of $\mu = 8.63 \text{ poise} = \frac{8.63}{10} \text{ SI units} = 0.863 \text{ N s/m}^2$

Now shear stress is given by equation (1.2) as $\tau = \mu \frac{du}{dy}$.

(i) Shear stress at $y = 0$ is given by

$$\tau_0 = \mu \left(\frac{du}{dy}\right)_{y=0} = 0.863 \times 0.667 = \mathbf{0.5756 \text{ N/m}^2. \text{ Ans.}}$$

(ii) Shear stress at $y = 0.15 \text{ m}$ is given by

$$(\tau)_{y=0.15} = \mu \left(\frac{du}{dy}\right)_{y=0.15} = 0.863 \times 0.367 = \mathbf{0.3167 \text{ N/m}^2. \text{ Ans.}}$$

Example 4

Calculate the dynamic viscosity of an oil, which is used for lubrication between a square plate of size 0.8 m x 0.8 m and an inclined plane with angle of inclination 30° as shown in Fig. 1.4. The weight of the square plate is 300 N and it slides down the inclined plane with a uniform velocity of 0.3 m/s. The thickness of oil film is 1.5 mm.

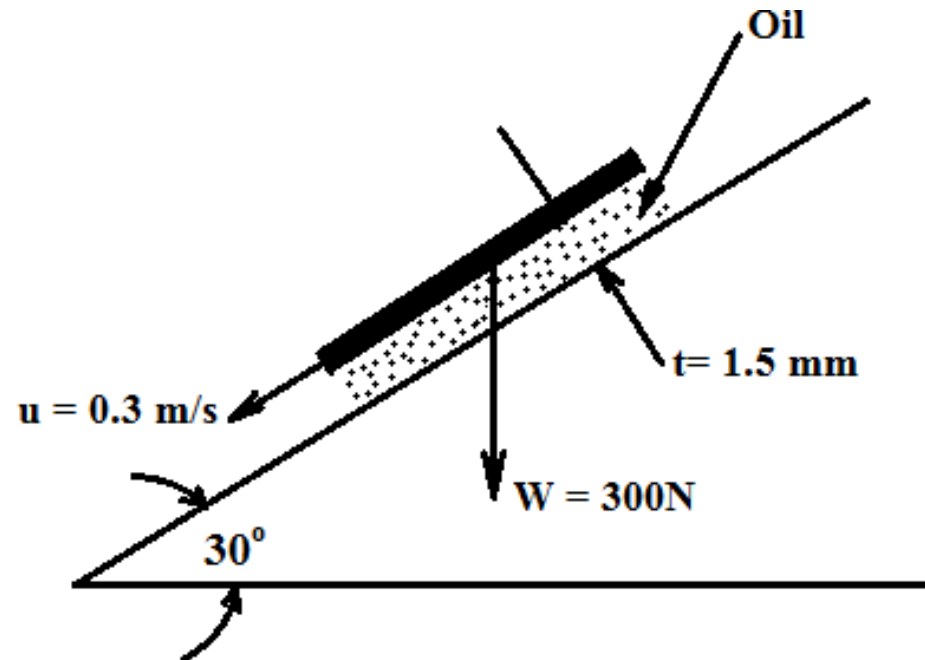


Fig.1.4

Solution. Given :

Area of plate, $A = 0.8 \times 0.8 = 0.64 \text{ m}^2$

Angle of plane, $\theta = 30^\circ$

Weight of plate, $W = 300 \text{ N}$

Velocity of plate, $u = 0.3 \text{ m/s}$

Thickness of oil film, $t = dy = 1.5 \text{ mm} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ m}$

Let the viscosity of fluid between plate and inclined plane is μ .

Component of weight W , along the plane $= W \cos 60^\circ = 300 \cos 60^\circ = 150 \text{ N}$

Thus the shear force, F , on the bottom surface of the plate $= 150 \text{ N}$

and shear stress, $\tau = \frac{F}{\text{Area}} = \frac{150}{0.64} \text{ N/m}^2$

Now using equation (1.2), we have

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

where $du = \text{change of velocity} = u - 0 = u = 0.3 \text{ m/s}$

$$dy = t = 1.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\therefore \frac{150}{0.64} = \mu \frac{0.3}{1.5 \times 10^{-3}}$$

$$\therefore \mu = \frac{150 \times 1.5 \times 10^{-3}}{0.64 \times 0.3} = 1.17 \text{ N s/m}^2 = 1.17 \times 10 = 11.7 \text{ poise. Ans.}$$

Example 5

The space between two square flat parallel plates is filled with oil. Each side of the plate is 60 cm. The thickness of the oil film is 12.5 mm. The upper plate, which moves at 2.5 metre per sec requires a force of 98.1 N to maintain the speed.

Determine : ·

- i. the dynamic viscosity of the oil, and
- ii. the kinematic viscosity of the oil if the specific gravity of the oil is 0.95.

Solution. Given:

Each side of a square plate = 60 cm = 0.6 m

Area $A = 0.6 \times 0.6 = 0.36 \text{ m}^2$

Thickness of oil film $dy = 12.5 \text{ mm} = 12.5 \times 10^{-3} \text{ m}$

Velocity of upper plate $u = 2.5 \text{ m/s}$



∴ Change of velocity between plates, $du = 2.5 \text{ m/sec}$

Force required on upper plate, $F = 98.1 \text{ N}$

∴ Shear stress,
$$\tau = \frac{\text{Force}}{\text{Area}} = \frac{F}{A} = \frac{98.1 \text{ N}}{0.36 \text{ m}^2}$$

(i) Let μ = Dynamic viscosity of oil

Using equation (1.2),
$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \text{ or } \frac{98.1}{0.36} = \mu \times \frac{2.5}{12.5 \times 10^{-3}}$$

∴
$$\mu = \frac{98.1}{0.36} \times \frac{12.5 \times 10^{-3}}{2.5} = 1.3635 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \text{ Ans.}$$

(ii) Sp. gr. of oil, $S = 0.95$

Let ν = kinematic viscosity of oil

Using equation (1.1 A),

Mass density of oil,
$$\rho = S \times 1000 = 0.95 \times 1000 = 950 \text{ kg/m}^3$$

Using the relation, $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, we get
$$\nu = \frac{1.3635 \left(\frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \right)}{950} = .001435 \text{ m}^2/\text{sec} \text{ Ans.}$$