

# DEFINISI DAN SIFAT-SIFAT FLUIDA

Mekanika fluida dan hidrolika adalah bagian dari mekanika terpakai (*Applied Mechanics*) yang merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan dasar bagi teknik sipil. Mekanika fluida dapat didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari sifat-sifat dan hukum-hukum yang berlaku serta perilaku fluida (cairan dan gas), adapun Hidrolika didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari sifat-sifat dan hukum-hukum yang berlaku, serta perilaku cairan terutama air baik dalam keadaan diam maupun bergerak atau mengalir.

Didalam kuliah ini diuraikan secara singkat prinsip-prinsip dasar dan contoh-contoh soal serta jawabannya yang meliputi hidrostatika dan hidrodinamika dalam lingkup teknik pertanian. Hidrolika mempelajari gaya-gaya yang bekerja pada benda yang berada dalam cairan dalam keadaan diam, keseimbangan gaya-gaya yang mengapung dan melayang dalam cairan, serta keseimbangan relatif.

Sedangkan hidrodinamika mempelajari cairan dalam keadaan bergerak atau mengalir dalam dimensi waktu ( $t$ ) dan tiga dimensi tempat ( $x, y, z$ ). Namun di dalam modul Mekanika Fluida ini pembahasan terbatas pada aliran tetap (tidak berubah menurut waktu) satu dimensi (hanya berubah di arah aliran) saja.

# DEFINISI DAN SIFAT-SIFAT FLUIDA

FLUIDA ADALAH SUATU ZAT YANG MEMPUNYAI KEMAMPUAN BER-UBAH SECARA KONTINYU APABILA MENGALAMI GESERAN, ATAU MEMPUNYAI REAKSI TERHADAP TEGANGAN GESER SEKECIL APAPUN.

DALAM KEADAAN DIAM ATAU DALAM KEADAAN KESEIMBANGAN, FLUIDA TIDAK MAMPU MENAHAN GAYA GESER YANG BEKERJA PADANYA, DAN OLEH SEBAB ITU FLUIDA MUDAH BERUBAH BENTUK TANPA PEMISAHAN MASSA.

- (1). **GAS** : Tidak mempunyai permukaan bebas, dan massanya selalu berkembang mengisi seluruh volume ruangan, serta dapat dimampatkan.
- (2). **CAIRAN** : mempunyai permukaan bebas, dan massanya akan mengisi ruangan sesuai dengan volumenya, serta tidak termampatkan.

**A. DIMENSI** : adalah besaran terukur mewujudkan karakteristik suatu obyek.

1. Massa ( m ).

2. Panjang ( L ).

3. Waktu ( t ).

**B. SATUAN** : adalah suatu standar yang mengukur dimensi, yang penggunaannya harus konsisten menurut sistem satuan yang digunakan.

# SISTEM SATUAN INTERNASIONAL (SI)

- Satuan Massa (kg)
- Satuan Panjang (m)
- Satuan Waktu (t)
- Satuan Gaya (Newton disingkat N)
- Volume ( $m^3$ )
- Kecepatan (m/det)
- Percepatan ( $m/det^2$ )
- Kerja (Joule disingkat J)
- Tekanan ( $N/m^2$ ) atau Pascal (P)

Satuan untuk gaya yang bekerja, di dalam Sistem ini diturunkan dari hukum Newton II yaitu :

$$F = m.a \quad (1.1)$$

dimana :

F = gaya dalam Newton (N)

m = massa dalam kilogram (kg)

a = percepatan dalam  $m/det^2$

atau :

Suatu gaya sebesar 1 N (Newton) mempercepat suatu massa sebesar 1 kg (kilogram) pada harga percepatan sebesar  $1 m/det^2$ .

Dalam hal ini :

$$1 N = 1 kg \cdot 1 m/det^2 = 1 kg m/det^2 \quad (1.2)$$

Selain sistem Satuan Internasional (SI) di Indonesia masih banyak yang menggunakan sistem satuan MKS, dimana di dalam sistem ini kilogram (kg) digunakan sebagai satuan berat atau gaya. Dalam hal ini satuan massa adalah kilogram massa (kg m), sehingga Pers (1.2) menjadi terbentuk :

$$G = m \times g \quad (1.3)$$

dimana :

G = gaya berat dalam kilogram gaya (kgf)

m = massa dalam kilogram massa (kgm)

g = gaya gravitasi dalam m/det<sup>2</sup>

Dalam hal ini :

$$1 \text{ kgm} = \frac{1}{g} \text{ kgf} \quad (1.4)$$

Karena nilai massa untuk satuan SI (kg) dan satuan MKS (kgm) adalah sama maka, Pers (1.4) dapat substitusikan ke dalam Pers. (1.2) yang menghasilkan :

$$1 \text{ N} = \frac{1}{g} \text{ kgf} \cdot 1 \text{ m / det}^2$$

$$\text{N} = \frac{1}{g} \text{ kgf}$$

atau :

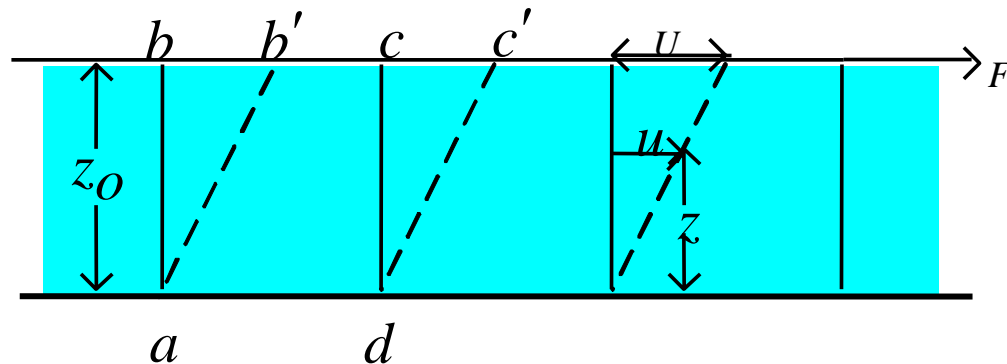
$$\text{kgf} = g \text{ N} \tag{1.5}$$

dimana :

$$g = 9,81 \text{ m/det}^2$$

# Kekentalan (Viscosity) dari cairan

Viskositas atau kekentalan dari suatu cairan adalah salah satu sifat cairan yang menentukan besarnya perlawanan terhadap gaya geser. Viskositas terjadi terutama karena adanya interaksi antara molekul-molekul cairan.



Gambar 1.1 Perubahan bentuk akibat dari penerapan gaya-gaya geser tetap

$$F = \mu \frac{A' u}{z_0} \quad (1.6)$$

Apabila tegangan geser  $\tau = F/A$  maka :

$$\tau = \mu \frac{A' u}{z_0 A} \text{ atau } \tau = \mu \frac{u}{z_0} \quad (1.7)$$

dimana :

$\tau$  = Tegangan geser

$\mu$  = Viskositas dinamik

$\frac{u}{z_0}$  = perubahan sudut atau kecepatan sudut dari garis

Agar berlaku umum  $\frac{u}{z_0}$  dapat dinyatakan dalam  $\frac{du}{dz}$

yang disebut gradien kecepatan.

Maka dalam bentuk differensial Pers.(1.7) dapat dinyatakan :

$$\tau = \mu \frac{du}{dz} \quad (1.8)$$

Pers.(1.8) disebut Hukum Newton dari kekentalan atau :

$$\mu = \frac{\tau}{du/dz} \quad (1.9)$$

Dalam sistem satuan SI, tegangan geser dinyatakan dalam N/m<sup>2</sup> dan gradien kecepatan adalah dalam (m/det)/m maka satuan dari viskositas dinamik adalah :

$$\mu = \frac{N/m^2}{(m/det)/m} = \frac{N \text{ det}}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot \text{det}} \quad (1.10)$$

Perbandingan antara kekentalan dinamik dan kerapatan disebut kekentalan kinematik, yaitu :

$$\mathcal{G} = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{det} \cdot \text{kg} / \text{m}^3} = \frac{\text{m}^2}{\text{det}} \quad (1.11)$$

yang mempunyai dimensi luas tiap satuan waktu dan satuannya adalah :  $\text{m}^2/\text{det}$ .

Viskositas kinematis dari cairan sangat dipengaruhi oleh temperatur, demikian pula dengan viskositas dinamik.

Oleh karena itu harga-harga viskositas dinamik  $\mu$  dan viskositas kinematis  $\mathcal{G}$  dalam hubungannya dengan temperatur dapat dinyatakan dalam bentuk grafik atau dalam bentuk tabel (1.1).

Adapun persamaan yang digunakan adalah suatu persamaan sederhana yaitu :

$$\mathcal{g} = \frac{(40 \cdot 10^{-6})}{(20 + T_e)} \quad (1.12)$$

dimana :

$\mathcal{g}$  = viskositas kinematis ( $\text{m}^2/\text{det}$ )

$T_e$  = temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

# Tabel 1.1 Sifat-sifat Air

Temp °C	Kerapatan $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscositas dinamis $\mu$ (m <sup>2</sup> /det)	Viscositas kinematis $\nu$ (m <sup>2</sup> /det)	Tegangan permukaan $\tau$ (N/m)	Tinggi tekanan uap $p_u/\gamma$ (m)	Modulus elastisitas K (N/m <sup>2</sup> )
0	999,87	1,787x10 <sup>-3</sup>	1,787x10 <sup>-6</sup>	0,0757	0.06	1,98x10 <sup>9</sup>
1	999,93	1,728 x10 <sup>-3</sup>	1,728 x10 <sup>-6</sup>	0,0755		
2	999,97	1,671 x10 <sup>-3</sup>	1,671 x10 <sup>-6</sup>	0,0753		
3	999,99	1,618 x10 <sup>-3</sup>	1,618 x10 <sup>-6</sup>	0,751		
4	1000	1,567 x10 <sup>-3</sup>	1,567 x10 <sup>-6</sup>	0,0749		
5	999,99	1,519 x10 <sup>-3</sup>	1,159 x10 <sup>-6</sup>	0,0748	0.09	2,03x10 <sup>9</sup>
6	999,97	1,472 x10 <sup>-3</sup>	1,472 x10 <sup>-6</sup>	0,0747		
8	999,88	1,386 x10 <sup>-3</sup>	1,386 x10 <sup>-6</sup>	0,0745		
10	999,73	1,307 x10 <sup>-3</sup>	1,307 x10 <sup>-6</sup>	0,0742	0.12	2,09x10 <sup>9</sup>
12	999,52	1,234 x10 <sup>-3</sup>	1,235 x10 <sup>-6</sup>	0,0740		
14	999,27	1,168 x10 <sup>-3</sup>	1,169 x10 <sup>-6</sup>	0,0737		2,14x10 <sup>9</sup>
16	998,97	1,108 x10 <sup>-3</sup>	1,109 x10 <sup>-6</sup>	0,0734		

Temp °C	Kerapatan $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscositas dinamis $\mu$ (m <sup>2</sup> /det)	Viscositas kinematis $\nu$ (m <sup>2</sup> /det)	Tegangan permukaan $\tau$ (N/m)	Tinggi tekanan uap $p_u/\gamma$ (m)	Modulus elastisitas K (N/m <sup>2</sup> )
18	998,62	1,052 x10 <sup>-3</sup>	1,052 x10 <sup>-6</sup>	0,0730		
20	998,23	1,000 x10 <sup>-3</sup>	1,002 x10 <sup>-6</sup>	0,0728	0.25	2,19x10 <sup>9</sup>
25	997,08	0,887 x10 <sup>-3</sup>	0,890 x10 <sup>-6</sup>	0,0720	0.33	
30	995,68	0,795 x10 <sup>-3</sup>	0,798 x10 <sup>-6</sup>	0,0712	0.44	2,25x10 <sup>9</sup>
35	994,06	0,715 x10 <sup>-3</sup>	0,719 x10 <sup>-6</sup>	0,0704	0.58	
40	992,25	0,648 x10 <sup>-3</sup>	0,653 x10 <sup>-6</sup>	0,0696	0.76	2,26x10 <sup>9</sup>
45	990,25	0,590 x10 <sup>-3</sup>	0,596 x10 <sup>-6</sup>	0,0689	0.98	
50	988,07	0,540 x10 <sup>-3</sup>	0,547 x10 <sup>-6</sup>	0,0680	1.26	2,26 x10 <sup>9</sup>
60	983,24	0,459 x10 <sup>-3</sup>	0,467 x10 <sup>-6</sup>	0,0661	2.03	2,25 x10 <sup>9</sup>
70	977,81	0,395 x10 <sup>-3</sup>	0,404 x10 <sup>-6</sup>	0,0643	3.20	2,22 x10 <sup>9</sup>
80	971,83	0,345 x10 <sup>-3</sup>	0,355 x10 <sup>-6</sup>	0,0626	4.86	2,17 x10 <sup>9</sup>
90	965,34	0,304 x10 <sup>-3</sup>	0,315 x10 <sup>-6</sup>	0,0607	7.18	
100	958,38	0,270 x10 <sup>-3</sup>	0,282 x10 <sup>-6</sup>	0,0589	10.33	

**Tabel 1.2. Satuan dalam SI**

Besaran	Simbol	Satuan Sistem SI	Besaran	Simbol	Satuan Sistem SI
<u>Besaran Dasar</u>			<u>Besaran</u>		
Panjang	L	m	Debit	Q	m <sup>3</sup> /det
Massa	M	kg	Gaya	F	N
Waktu	T	det	Tekanan	P	N/m <sup>2</sup>
Sudut	θ	rad			atau Pa (Pascal)
Luas	A	m <sup>2</sup>			
Volume	V	m <sup>3</sup>	Daya	P	W (Watt)
Kecepatan	u	m/det			(joule/det)
Percepatan	a	m/det <sup>2</sup>	Kerja, energi	E	N.m (Joule)

Besaran	Simbol	Satuan Sistem SI
Kecepatan sudut	$\omega$	Rad / det
Gravitasi	g	m / det <sup>2</sup>
Kerapatan	$\rho$	kg / m <sup>3</sup>
Kekentalan dinamis	$\mu$	N det / m <sup>2</sup>
Kekentalan kinematis	$\nu$	m <sup>2</sup> / det
Berat jenis	$\gamma$	N / m <sup>3</sup>

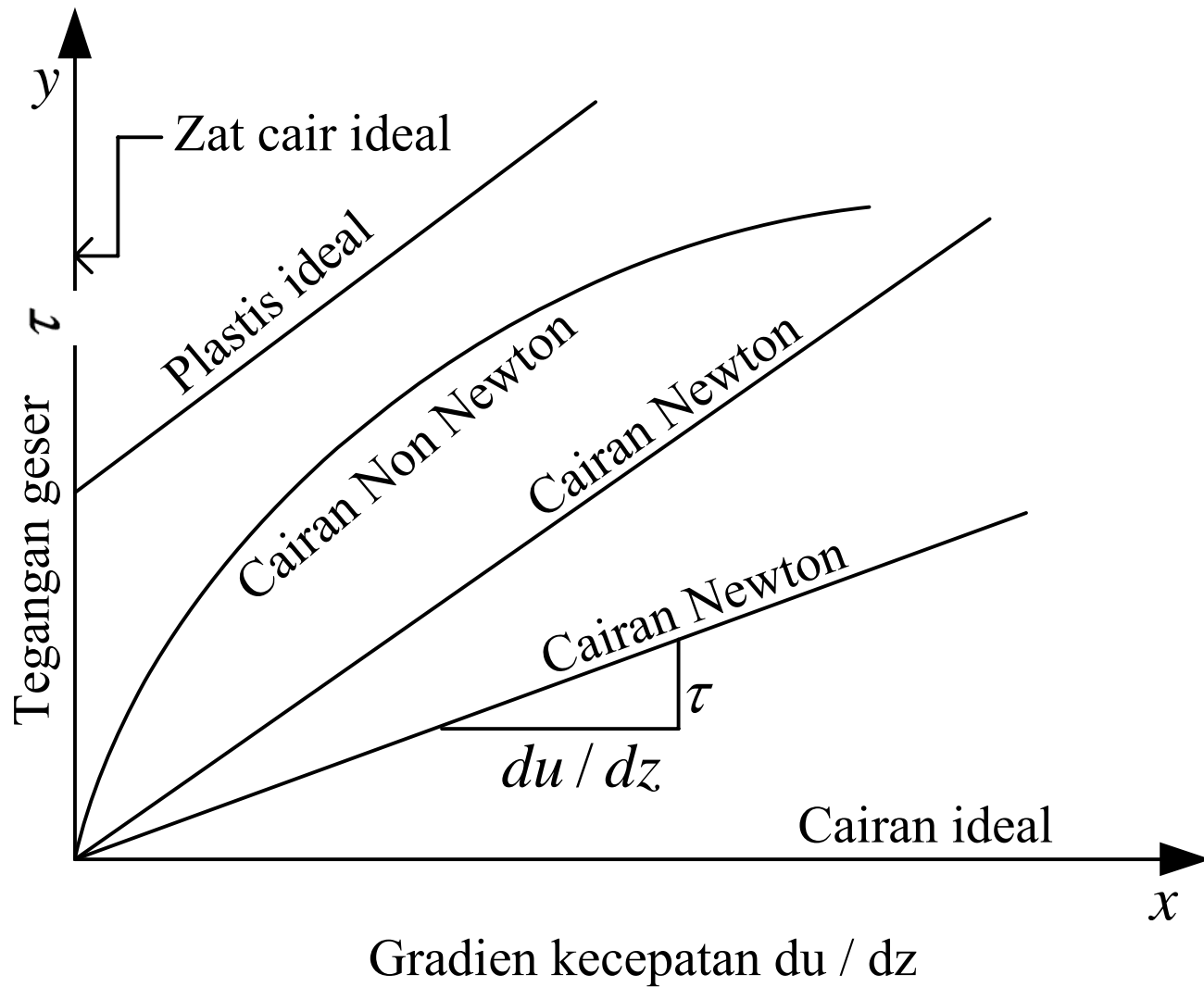
**Tabel 1.3. Prefiks untuk Perkalian Desimal**

Prefiks	Simbol	Faktor Pengali	Prefiks	Simbol	Faktor Pengali
Giga	G	10 <sup>9</sup>	Deci	d	10 <sup>-1</sup>
Mega	M	10 <sup>6</sup>	Centi	c	10 <sup>-2</sup>
Kilo	k	10 <sup>3</sup>	Milli	m	10 <sup>-3</sup>
Heto	h	10 <sup>2</sup>	Micro	$\mu$	10 <sup>-6</sup>
Deca	da	10 <sup>1</sup>	Nano	n	10 <sup>-9</sup>

Suatu cairan dimana viskositas dinamikanya tidak tergantung pada temperatur, dan tegangan gesernya proposional (mempunyai hubungan linear) dengan gradien kecepatan dinamakan suatu **cairan Newton**.

Perilaku viskositas dari cairan ini adalah menuruti Hukum Newton untuk kekentalan seperti yang dinyatakan dalam Pers.(1.9).

Dengan demikian maka untuk cairan ini grafik hubungan antara tegangan geser dan gradien kecepatan merupakan garis lurus yang melalui titik pusat salib sumbu seperti pada Gb(1.2). Kemiringan garis tersebut menunjukkan besarnya viskositas.



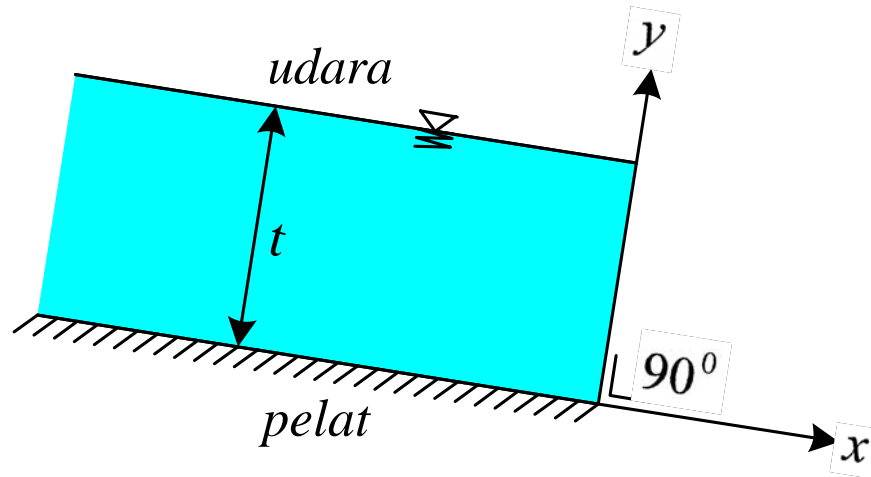
Gambar 1.2. Perilaku viskositas cairan

Cairan yang perilaku viskositasnya tidak memenuhi Pers.(1.9) dinamakan cairan Non Newton. Cairan Non Newton mempunyai tiga sub grup yaitu :

- i. Cairan dimana tegangan geser hanya tergantung pada gradien kecepatan saja, dan walaupun hubungan antara tegangan geser dan gradien kecepatan tidak linier, namun tidak tergantung pada waktu setelah cairan menggeser.
- ii. Cairan dimana tegangan geser tidak hanya tergantung pada gradien kecepatan tetapi tergantung pula pada waktu cairan menggeser atau pada kondisi sebelumnya.
- iii. Cairan visco-elastis yang menunjukkan karakteristik dari zat pada elastis dan cairan viskus.

## CONTOH SOAL 1

Suatu cairan mengalir pada suatu pelat miring dalam bentuk lapisan tipis setebal  $t$  seperti pada Gb.1.7.



Gambar 1.7 Suatu cairan yang mengalir diatas suatu pelat

Bagian atas (permukaan) dari cairan yang mengalir diatas pelat tersebut berhubungan dengan udara yang hampir tidak menyebabkan hambatan pada aliran. Dengan menggunakan hukum Newton untuk viscositas tentukan harga  $du/dx$

Apakah keadaan ini akan terdapat pembagian kecepatan yang linier?

Hukum Newton untuk viskositas adalah

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

Pada permukaan cairan tegangan geser = 0

$$\tau_z = 0 \rightarrow \left. \frac{du}{dz} \right]_{z=t} = 0$$

Pada dasar tegangan geser  $\neq 0$

$$\tau_0 \neq 0 \rightarrow \left. \frac{du}{dz} \right]_{z=0} \neq 0$$

Dari dua persamaan tersebut dapat dilihat bahwa terdapat

perubahan  $\frac{du}{dz}$  antara dasar dan permukaan yang menunjukkan

adanya perubahan dari kemiringan lengkung pembagian kecepatan. Dengan demikian kecepatan pada sumbu z tidak linier.

## CONTOH SOAL 2

Suatu pelat terletak sejauh 0,5 mm dari pelat yang lain tetap. Pelat tersebut bergerak dengan kecepatan 0,25 m/det dan memerlukan suatu gaya tiap satuan luas sebesar 2 Pa (N/m<sup>2</sup>) untuk menjaga kecepatan yang tetap. Tentukan viskositas cairan yang terletak di antara dua pelat tersebut.

### Jawaban :

Hukum Newton untuk viskositas adalah :

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

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{u}{t}$$

$$\mu = \frac{F}{A} \frac{t}{u} = \frac{2 \text{ N/m}^2 \times 0,5 \text{ mm} \times 1 \text{ m}}{1 \times 0,25 \text{ m/det} \times 1000 \text{ mm}}$$

$$\mu = \frac{1 \text{ N.det}}{250 \text{ m}^2} = \underline{\underline{0,004 \text{ N.det/m}^2}}$$

# KERAPATAN CAIRAN DAN KERAPATAN RELATIF

**Kerapatan** cairan  $\rho$  (*density*)

adalah suatu ukuran dari konsentrasi massa dan dinyatakan dalam bentuk massa tiap satuan volume. Oleh karena temperatur dan tekanan mempunyai pengaruh (walaupun sedikit) maka kerapatan cairan dapat didefinisikan sebagai : *massa tiap satuan volume pada suatu temperatur dan tekanan tertentu.*

$$\rho = \frac{\text{massa}}{(\text{satuan volume})} = \left[ \frac{m}{v} \right] \left( \text{kg/m}^3 \right) \quad (1.13)$$

Kerapatan dari air pada tekanan standard/tekanan atmosfer (760 mm Hg) dan temperatur 4°C adalah 1000 kg/m<sup>3</sup>.

# Kerapatan relatif ( $S$ )

adalah suatu cairan ( *specific density* ) didefinisikan sebagai perbandingan antara kerapatan dari cairan tersebut dengan kerapatan air.

$$S = \frac{\text{kerapatan cairan}}{\text{kerapatan air}} = \frac{\rho_{\text{cairan}}}{\rho_{\text{air}}} \quad (1.14)$$

Dengan demikian harga (  $S$  ) tersebut tidak berdimensi.

Walaupun temperatur dan tekanan mempunyai pengaruh terhadap kerapatan namun sangat kecil sehingga untuk keperluan praktis pengaruh tersebut diabaikan.

# BERAT JENIS

**Berat Jenis** (*specific weight*)  $\gamma$  dari suatu benda adalah besarnya gaya grafitasi yang bekerja pada suatu massa dari suatu satuan volume, oleh karena itu berat jenis dapat didefinisikan sebagai : berat tiap satuan volume.

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{V} = \rho \cdot g \quad (1.15)$$

dimana :

$\gamma$  = berat jenis dengan satuan  $\text{N/m}^3$  untuk sistem SI atau  $\text{kgf/m}^3$  untuk sistem MKS

$\rho$  = kerapatan zat, dalam  $\text{kg/m}^3$  untuk sistem SI, atau  $\text{kg m}$  (kilogram massa) untuk sistem MKS

$g$  = percepatan gravitasi =  $9,81 \text{ m/det}^2$

# KEMAMPATAN

Telah diuraikan di muka cairan merupakan zat yang tidak termampatkan (*incompressible*). Namun perlu diperhatikan bahwa cairan dapat berubah bentuk karena tegangan geser atau termampatkan oleh tekanan pada suatu volume cairan tersebut. Dengan demikian maka untuk kondisi-kondisi dimana terjadi perubahan tiba-tiba atau perubahan besar dalam tekanan maka kemampatan cairan menjadi penting. Kemampatan dinyatakan dengan harga K.

Harga K untuk air pada temperatur 20°C adalah sekitar  $2,18 \times 10^9 \text{ N/m}^2$  pada tekanan atmosfer dan bertambah secara linier sampai sekitar  $2,86 \times 10^9 \text{ N/m}^3$  pada suatu tekanan 1000 atmosfer jadi dalam kondisi pada temperatur 20°C.

$$K = (2,18 \times 10^9 + 6,7P) N/m^2 \quad (1.16)$$

dimana P adalah tekanan terukur (*gage pressure*) dalam  $N/m^3$ . Untuk keperluan praktis air dapat dipertimbangkan sebagai cairan tak termampatkan (*incompressible fluid*). Namun ada pengecualiannya, yaitu fenomena “*water hammer*” yang terjadi di dalam saluran tertutup apabila terjadi penutupan katub turbin secara tiba-tiba.

$$K = - \frac{dp}{dV/V} \quad (1.17)$$

dimana :

$K$  = modulus elastisitas

$dp$  = penambahan tekanan

$dV$  = pengurangan volume

$V$  = volume awal

Tanda (-) di dalam persamaan tersebut menunjukkan bahwa penambahan tekanan mengurangi volume.

Karena  $dV/V$  tidak berdimensi maka :  $K$  dinyatakan dalam satuan dari tekanan  $p$  atau gaya tiap satuan luas. Apabila yang dipertimbangkan adalah satuan massa cairan maka modulus elastisitas  $K$  dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$K = + \frac{dp}{d\rho/\rho} \quad (1.18)$$

Karena  $\rho V = \text{tetap}$  dan  $d(\rho V) = 0$  atau  $dV/V = - d\rho/\rho$

# POMPA HIDRAM

(PATMO=Pompa Air Tanpa Energi Buatan )



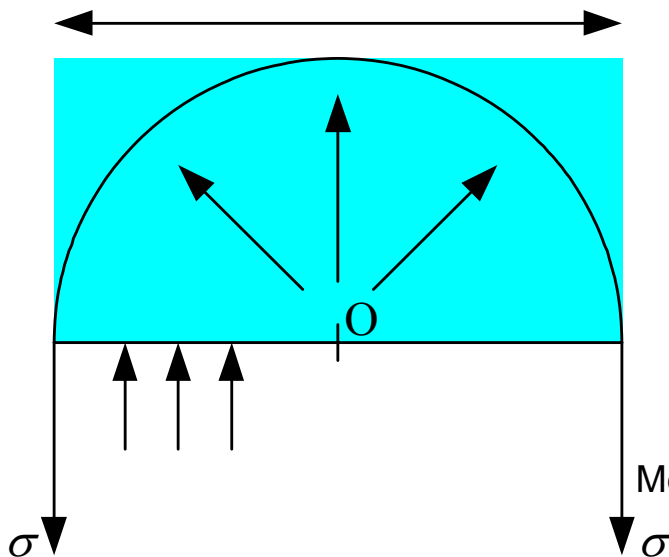
Jaringan pipa output menuju tempat bak distribusi dengan perbedaan ketinggian 85 meter



Output pada bak terminal hasil dari pemasangan 5 PATMO

# TEGANGAN PERMUKAAN

Tegangan permukaan untuk suatu permukaan air-udara adalah  $0,073 \text{ N/m}$  pada temperatur ruangan. Adanya tegangan permukaan tersebut menaikkan tekanan di dalam suatu tetesan cairan. Untuk suatu tetesan cairan dengan diameter  $D$ , tekanan internal  $p$  diperlukan untuk mengimbangi gaya tarik karena tegangan permukaan  $\sigma$ , dihitung berdasarkan gaya yang bekerja pada suatu belahan tetesan cairan seperti pada Gb.(1.3).



Gambar 1.3. Gaya-gaya yang bekerja pada tetesan air

$$\pi d \sigma = \frac{1}{4} \pi d^2 p$$

$$p = \frac{4 \sigma}{d} \quad (1.19)$$

dimana :

p = tekanan, dalam (N/m<sup>2</sup>)

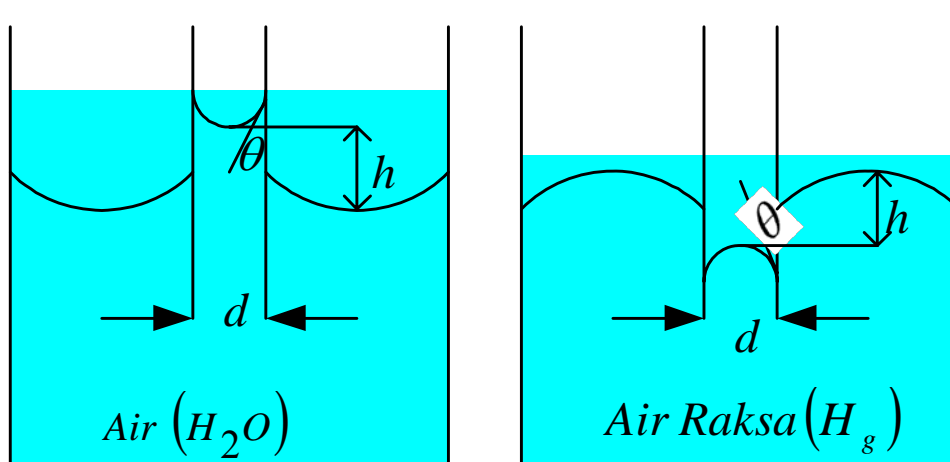
σ = tegangan permukaan dalam (N/m)

d = diameter tetesan dalam (m)

Besarnya tegangan permukaan air pada beberapa temperatur ditunjukkan dalam tabel 1.1.

# KAPILARITAS

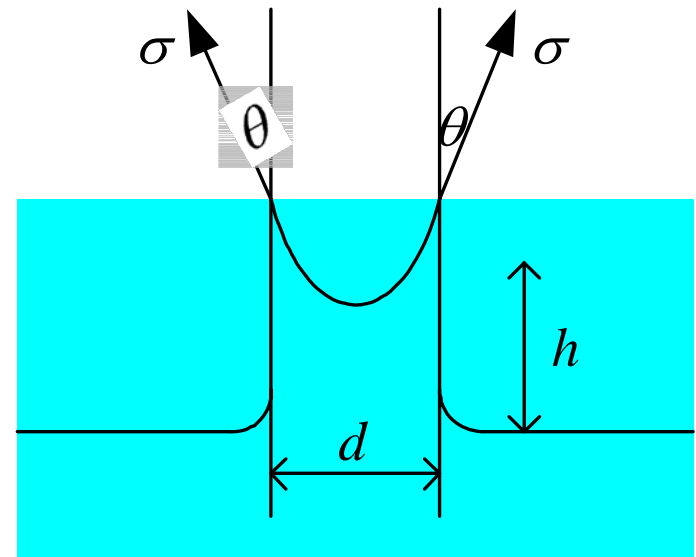
Kapilaritas terjadi disebabkan oleh tegangan permukaan oleh gaya kohesi dan adhesi. Hal ini dapat dilihat pada suatu pipa vertikal diameter kecil (*pipa kapiler*) yang dimasukkan ke dalam suatu cairan.



(a)

(b)

Gambar 1.4. Kenaikan dan penurunan kapilaritas



Gambar 1.5. Kenaikan Kapilaritas

Keseimbangan tercapai apabila :  $\pi d \cos \theta \sigma = \rho g h \frac{\pi}{4} d^2$

Sehingga kenaikan kapilaritas dapat dihitung yaitu :

$$h = \frac{4 \sigma \cos \theta}{\rho g d} \quad (1.20)$$

dimana :

$h$  = tinggi kenaikan kapilaritas (m)

$\sigma$  = tegangan permukaan (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = kerapatan cairan (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = gaya gravitasi (m/det<sup>2</sup>)

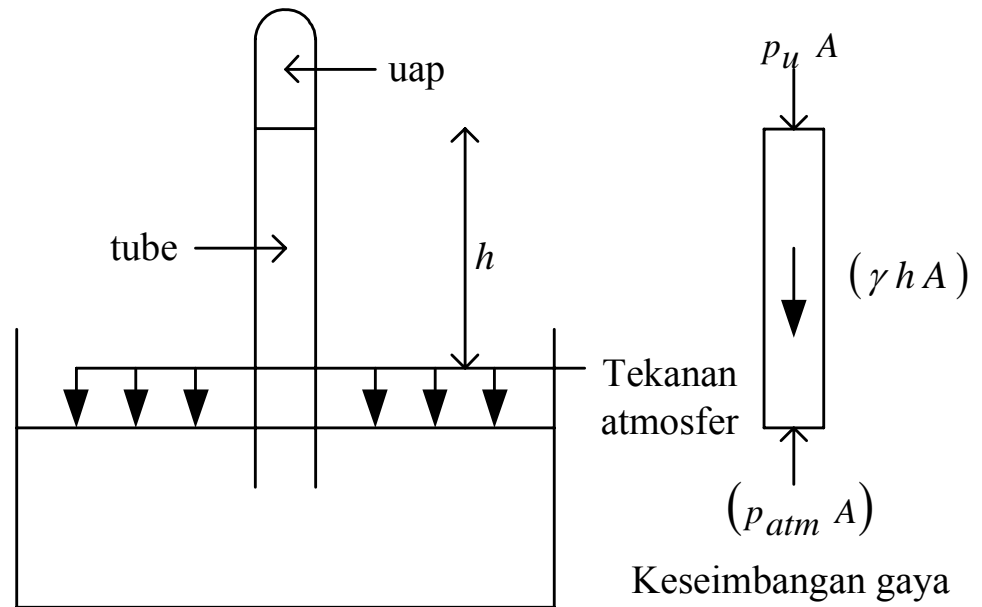
$d$  = diameter pipa kapilar (m)

$\theta$  = sudut antara tegangan permukaan dan dinding pipa vertikal

Pers (1.20) tersebut berlaku untuk  $d < 3$  mm (lihat Gb.1.5)

# TEKANAN UAP

Salah satu cara untuk menjelaskan besarnya tekanan uap, diambil suatu pipa diameter kecil berisi cairan yang ditutup di salah satu ujungnya (*tube*). Ujung yang satu lagi terbuka dan dibenamkan di dalam suatu bak berisi cairan yang sama dengan cairan di dalam pipa, seperti pada Gb.(1.6).



Gambar 1.6  
Penjelasan terjadinya  
Tekanan Uap

Tekanan atmosfer menahan kolom cairan di dalam pipa, tetapi apabila pipa di tarik lebih tinggi, tekanan di ujung atas pipa menurun sampai di bawah tekanan uap. Dalam hal ini cairan akan melepaskan diri dari ujung pipa. Dengan tekanan pada permukaan dasar pipa sama dengan tekanan atmosfer, keseimbangan gaya dapat digunakan untuk menunjukkan hubungan antara tekanan uap, **tekanan atmosfer** dan panjang dari kolom cairan :

$$P_u A = P_{atm} A \gamma (hA) \quad (1.21)$$

dimana :

$P_u$  = tekanan uap dalam Pa (Pascal)

$P_{atm}$  = tekanan atmosfer

$A$  = luas penampang pipa

$\gamma$  = berat jenis cairan

Tekanan uap jenuh cairan pada temperatur 20°C ditunjukkan di dalam tabel (1.4) dan untuk air pada temperatur berbeda ditunjukkan di dalam tabel (1.5).

**Tabel 1.4. Tekanan uap jenuh cairan pada temperatur**

Zat cair	Tekanan uap jenuh	
	kgf / cm <sup>2</sup>	N / m <sup>2</sup>
Air Raksa	$1,63 \times 10^{-6}$	0,160
Minyak Tanah	$3,36 \times 10^{-2}$	3,300
Alkohol	$5,95 \times 10^{-2}$	5,900
Bensin	$10,10 \times 10^{-2}$	10,000

**Tabel 1.5. Tekanan uap jenuh air (dalam satuan absolut)**

Temperatur	Tekanan uap jenuh	
	kgf / cm <sup>2</sup>	N / m <sup>2</sup>
0	$0,632 \times 10^{-2}$	623
10	$1,246 \times 10^{-2}$	1,230
20	$2,373 \times 10^{-2}$	2,340
40	$7,490 \times 10^{-2}$	7,400
60	$20,300 \times 10^{-2}$	20,000
80	$48,300 \times 10^{-2}$	47,400
100	$1,03 \times 10^{-2}$	101,500

## CONTOH SOAL

Berapa besar tekanan uap yang dapat menyebabkan terjadinya kavitasi pada inlet dari suatu pompa yang mengalirkan air pada temperatur 35°C.

### Jawaban :

Kavitasi terjadi apabila tekanan berkurang sampai mencapai tekanan uap.

Dari tabel 1.1. diperoleh

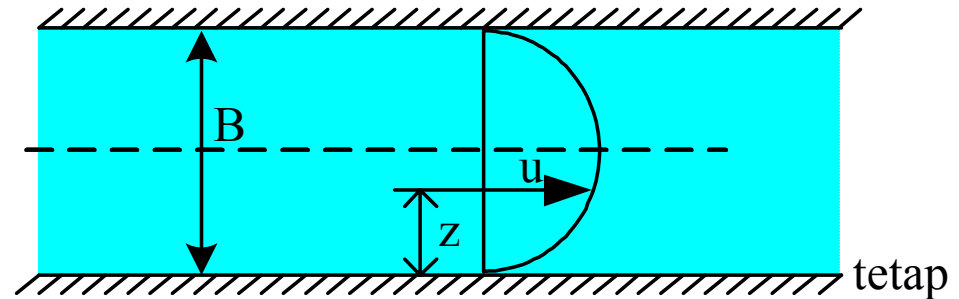
$$\frac{P_u}{\gamma} = 0,58 \text{ m}$$

$$P_u = 0,58 \text{ m} \times 9752 \text{ N/m}^3 = \underline{\underline{56,56 \text{ N/m}^3}}$$

## Latihan Soal

1. Pembagian kecepatan untuk aliran berkekentalan antara dua pelat yang tetap ditunjukkan dalam persamaan berikut ini :

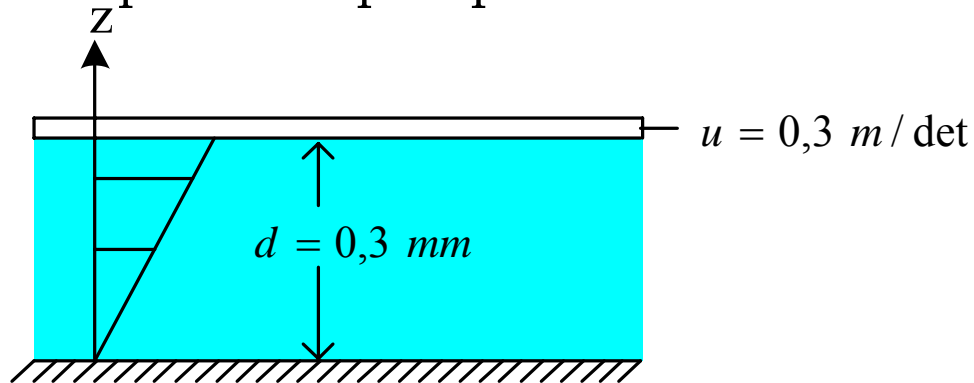
$$u = \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} (Bz - z^2)$$



Gambar 1.8 Pembagian kecepatan aliran antara dua pelat

Bila cairan glycerine yang mengalir ( $T=18^{\circ}\text{C}$ ), dan gradien tekanan  $dp/dx$  adalah  $1,570 \text{ kN/m}^3$ , berapakah besarnya kecepatan dan tegangan geser pada jarak  $12,7 \text{ mm}$  dari dinding bila jarak antara dua dinding adalah  $B=5,08 \text{ cm}$ . Tentukan juga besarnya tegangan geser dan kecepatan pada dinding, apabila kerapatan glycerine adalah  $\rho=1,260 \text{ kg/m}^3$ .

2. Suatu pelat bergerak di atas pelat ke dua pada suatu lapisan cairan seperti tampak pada Gb.1.9



Untuk suatu jarak  $d$  yang kecil, pembagian kecepatan di dalam cairan dianggap linier. Sifat-sifat cairan adalah :

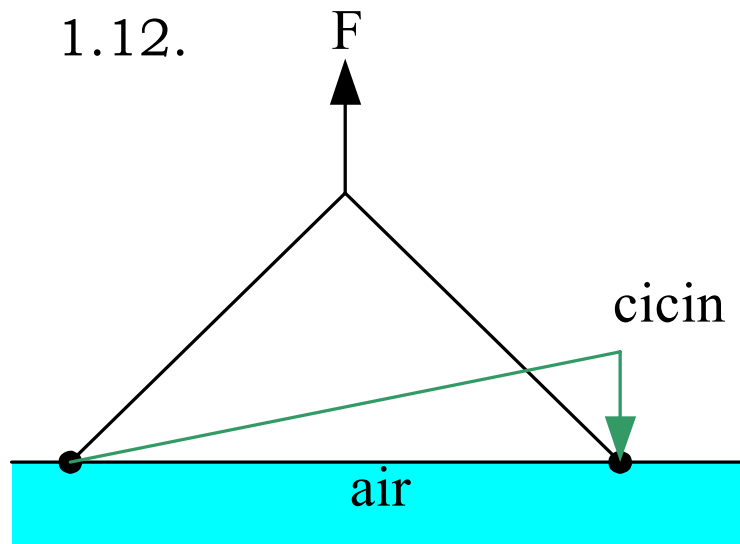
Viscositas  $\mu = 0,65 \text{ cp}$  (centipoises)

Kerapatan relatif  $S = 0,88$

Hitung besarnya :

- viscositas kinematis.
- tegangan geser pada pelat atas .
- tegangan geser pada pelat bawah.
- tunjukkan arah garis kerja tegangan geser pada perhitungan (b dan c) tersebut.

3. Bila persamaan dari diagram kecepatan adalah :  $u = 4 z^{2/3}$ , berapakah besarnya gradien kecepatan pada dasar dan pada jarak 0,25 m serta 0,5 dari dasar ?
4. Suatu metode untuk menentukan tegangan permukaan dari cairan adalah dengan mencari gaya yang diperlukan untuk menarik cincin platina dari permukaan seperti pada gambar 1.12.



Gambar 1.12 Suatu cincin pada cairan

Perkirakan besarnya gaya yang diperlukan untuk mengangkat cincin diameter 2 cm dari permukaan air pada temperatur 20°C. Mengapa platina yang dipakai sebagai bahan cincin?

5. Hitung efek kapiler dalam suatu tabung kaca (tube) diameter 4 mm, bila dimasukkan ke dalam : (a) air dan (b) air raksa. Sudut kontak untuk air  $\theta = 0^\circ$  dan air raksa  $\theta = 130^\circ$ . Temperatur cairan tersebut adalah  $20^\circ\text{C}$  dan tegangan permukaan air adalah  $0,075 \text{ N/m}$  sedang  $\sigma$  air raksa adalah  $0,52 \text{ N/m}$ ,  $\gamma$  air =  $9806 \text{ N/m}^3$ ,  $\gamma$  air raksa =  $136000 \text{ N/m}^3$ .
6. Pada kedalaman 8,5 km di dalam laut tekanan adalah  $90 \text{ MN/m}^2$ . Berat jenis air laut pada permukaan adalah  $10,2 \text{ KN/m}^3$  dan modulus elastisitas rata-rata adalah  $2,4 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$ . Tentukan (a) perubahan volume specific, (b) volume specific dan berat jenis air laut pada kedalaman 8,5 km.

# RANGKUMAN

1. Fluida dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu gas dan cairan yang mempunyai perbedaan sifat, yaitu :  
Gas tidak mempunyai permukaan bebas dan massanya selalu berkembang mengisi seluruh ruangan, serta mampu dimampatkan (*compressible*).  
Cairan mempunyai permukaan bebas, massanya akan mengisi volume ruangan tertentu sesuai dengan volumenya, serta tidak mampu dimampatkan (*incompressible*).
2. Dimensi adalah besaran terukur : massa (m), panjang (L), dan waktu (t).
3. Satuan adalah standar yang mengukur dimensi. Didalam sistem Satuan Internasional (SI) satuan massa adalah kilogram (kg), satuan panjang adalah meter (m), dan satuan waktu adalah detik (det) atau sekon (s).

4. Satuan untuk gaya adalah Newton (N) yang diturunkan dari persamaan Newton yaitu :  $F = m.a \text{ kg.m / det}^2$
5. Kekentalan (*viscosity*) dari suatu cairan adalah salah satu sifat cairan yang menentukan besarnya perlawanan terhadap geser.

Kekentalan dinamik ( $\mu$ ) adalah perbandingan antara tegangan geser ( $\tau$ ) dan gradien kecepatan  $\left(\frac{du}{dz}\right)$ ,  $\tau = \frac{\mu}{du / dz} \text{ kg / m.det}$

6. Kekentalan kinematik (*cinematic viscosity*)  $\nu$  adalah kekentalan dinamik dibagi kerapatan cairan  $\left(\nu = \frac{\mu}{\rho} \text{ m}^2 / \text{det}\right)$

7. Kerapatan cairan (*density*) adalah ukuran dari konsentrasi massa dan dinyatakan dalam bentuk massa per satuan volume :

$$\rho = \text{massa} / \text{satuan volume} = m / v \text{ kg / m}^3$$

8. Kerapatan relatif suatu cairan (*specific density*)  $S$  adalah perbandingan antara kerapatan cairan dengan kerapatan air.

9. Berat jenis (*specific weight*) adalah besarnya gaya gravitasi yang bekerja pada suatu massa dari satuan volume :

$$\gamma = \rho \cdot g \text{ N/m}^3$$

10. Kemampuan kemampuan dimampatkan dari cairan akibat bertambahnya tekanan, dinyatakan dalam persamaan :

$$K = -\frac{dp}{dV/V}$$

11. Tegangan permukaan adalah energi per satuan luas permukaan ( $\tau$ )

12. Kapilaritas terjadi karena adanya tegangan permukaan.

Hal ini dapat dilihat pada pipa kapiler yang diletakkan pada cairan, kenaikan kapilaritas dapat dihitung dengan persamaan :

$$h = \frac{4 \times \sigma \times \cos \theta}{\rho \times g \times d}$$

13. Tekanan uap dinyatakan dalam pascal (Pa).

SELESAI