

Saloom Hilton Siahaan, ST., MT
Dr. Muktar Panjaitan, S.Si., M.Pd

BAHAN AJAR MEKANIKA FLUIDA



**BAHAN AJAR
MEKANIKA FLUIDA**

BAHAN AJAR MEKANIKA FLUIDA

**Saloom Hilton Siahaan, ST., MT
Dr. Muktar Panjaitan, S.Si., M.Pd**



BAHAN AJAR MEKANIKA FLUIDA

© Penerbit Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI)

Penulis:

**Saloom Hilton Siahaan, ST., MT
Dr. Muktar Panjaitan, S.Si., M.Pd**

Editor: Erik Santoso

Cetakan Pertama : Desember 2021

Cover: Rusli

Tata Letak : Tim Kreatif PRCI

Hak Cipta 2021, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

**Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT**
Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website : www.rcipress.rcipublisher.org

E-mail : rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2021 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I – : Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2021
; 14,8 x 21 cm
ISBN : 978-623-5847-40-5

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang
Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat dan karunia-Nya sehingga kami bisa menyelesaikan buku ajar **Mekanika Fluida** yang akan digunakan untuk melengkapi bahan pembelajaran Mata Kuliah Mekanika Fluida di Jurusan Teknik Mesin Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar yang tentunya telah disesuaikan dengan kondisi perkembangan teknologi dan tingkat kebutuhan mahasiswa.

Buku bahan ajar ini telah disesuaikan dengan materi – materi yang mengacu pada Kurikulum yang berbasis Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI) yang nantinya akan disampaikan kepada mahasiswa, dan diharapkan dapat mempermudah pemahaman mengenai materi Mekanika Fluida dan Hidrolika baik untuk pembelajaran di ruang kuliah maupun praktikum di laboratorium.

Kami mengucapkan terimakasih atas semua saran dan kritikan mengenai buku ini, mudah–mudahan buku bahan ajar ini dapat memenuhi kriteria yang diharapkan.

Medan, 01 Desember 2021

Penyusun

Saloom Hilton Siahaan, ST., MT

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
1 PENDAHULUAN	1
A. Tujuan Intruksional Umum (TIU)	1
B. Tujuan Intruksional Khusus (TIK)	1
C. Sejarah Mekanika Fluida	1
D. Definisi Fluida	5
1. Ruang Lingkup Mekanika Fluida	7
2. Tipe Aliran Fluida	7
E. Dimensi dan Satuan	11
2 SIFAT-SIFAT ZAT CAIR	15
A. Tujuan Intruksional Umum (TIU)	15
B. Tujuan Intruksional Khusus (TIK)	15
C. Pendahuluan	15
D. Rapat Massa (<i>density</i>)	16
E. Kekentalan (<i>viscosity</i>)	17
F. Kemampatan (<i>compressibility</i>)	20
G. Tegangan permukaan (<i>surface tension</i>)	21
H. Kapilaritas (<i>capillarity</i>)	22
I. Pelatihan	24
J. Soal Latihan	25
3 STATIKA FLUIDA	27
A. Tujuan Intruksional Umum (TIU)	27
B. Tujuan Intruksional Khusus (TIK)	27
C. Pendahuluan	27
D. Tekanan	28

E. Hukum Pascal.....	28
F. Tekanan Hidrostatik.....	32
G. Tekanan Atmosfer dan Manometer	36
H. Gaya Hidrostatik Pada Bidang Terendam	37
I. Pelatihan	43
J. Soal Latihan.....	47
 4 KESEIMBANGAN BENDA TERAPUNG.....	 51
A. Tujuan Intruksional Umum (TIU).....	51
B. Tujuan Intruksional Khusus (TIK)	51
C. Pendahuluan.....	51
D. Hukum Archimedes	52
E. Kestabilan Benda Terapung	54
F. Pelatihan	56
G. Soal Latihan.....	60
 5 KINEMATIKA FLUIDA	 63
A. Tujuan Intruksional Umum (TIU).....	63
B. Tujuan Intruksional Khusus (TIK)	63
C. Pendahuluan.....	63
D. Garis Arus (<i>streamlines</i>) Dan Pipa Arus (<i>streamtubes</i>)	63
E. Percepatan Dalam Aliran Air	65
F. Persamaan Kontinuitas.....	67
G. Pelatihan	69
H. Soal Latihan.....	72
 6 HUKUM KEKALKAN ENERGI DAN PERSAMAAN BERNOULLI.....	 75
A. Tujuan Intruksional Umum (TIU).....	75
B. Tujuan Intruksional Khusus (TIK)	75
C. Pendahuluan.....	75

D. Persamaan Euler	76
E. Persamaan Bernoulli	78
F. Kehilangan Energi	80
G. Pelatihan.....	83
H. Soal Latihan.....	87
 7 SISTEM DAN JARINGAN PIPA.....	 89
A. Tujuan Intruksional Umum (TIU)	89
B. Tujuan Intruksional Khusus (TIK).....	89
C. Pendahuluan	89
D. Pipa Dengan Turbin	90
E. Pipa Dengan Pompa.....	92
F. Pipa Hubungan Seri	93
G. Pipa Hubungan Pararel	96
H. Pipa Bercabang	97
I. Jaringan Pipa.....	100
J. Rumus Kehilangan Tenaga Akibat Gesekan.....	102
K. Metode Hardy Cross	102
L. Pelatihan.....	104
M. Soal Latihan.....	115
 8 ALIRAN MELALUI SALURAN TERBUKA.....	 117
A. Umum	117
B. Persamaan Konservasi Massa	118
C. Persamaan Konservasi Energi.....	120
D. Persamaan Konservasi Momentum	123
 9 ALIRAN MELALUI LUBANG DAN PELUAP	 127
A. Pendahuluan.....	127
B. Koefisien Aliran	128
C. Aliran melalui lubang.....	130
1. Lubang kecil	130

2. Lubang terendam.....	134
3. Lubang besar	135
D. Aliran melalui satu tangki	139
E. Aliran melalui dua tangki	145
F. Peluap.....	147
1. Debit aliran melalui peluap segi empat.....	149
2. Debit melalui peluap segitiga.....	152
3. Debit aliran melalui peluap trapesium	153
4. Debit aliran melalui peluap ambang lebar	155
5. Debit aliran melalui peluap terendam	158
G. Soal Latihan.....	160
BIOGRAFI PENULIS	163

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Dimensi-dimensi pokok dalam sistem SI	12
Tabel 1.2 Dimensi-dimensi turunan dalam mekanika fluida dalam sistem SI.....	13
Tabel 2.1 Tegangan permukaan zat cair pada beberapa temperatur	22
Tabel 3.1 Momen inersia beberapa bentuk penampang.....	43
Tabel 6.1 Koefesien kehilangan energi akibat perubahan penampang (k_1)	82
Tabel 6.2 Koefesien kehilangan energi akibat perubahan penampang (k_1)	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Benda dalam hukum Archimedes.....	2
Gambar 1.2 Perbedaan mendasar perilaku fluida dan zat padat.	6
Gambar 1.3 Molekul zat (a) padat, (b) cair, dan (c) gas.	7
Gambar 1.4 Contoh saluran dengan aliran tunak.	8
Gambar 1.5 Contoh sungai dengan aliran tak tunak.	9
Gambar 2.1 Rapat massa air	16
Gambar 2.2 Gambaran tingkat kekentalan dalam zat cair.	18
Gambar 2.3 Gradien kecepatan	19
Gambar 2.4 Hubungan Tegangan geser dengan gradien kecepatan	19
Gambar 2.5 Contoh tegangan permukaan pada zat cair.	21
Gambar 2.6 Semakin kecil diameter pipa kapiler maka semakin tinggi zat cair di dalamnya	23
Gambar 3.1 Gaya dan tekanan.	28
Gambar 3.2 Tekanan hidrostatik pada suatu titik dalam zat cair diam	29
Gambar 3.3 Prisma segitiga elemen zat cair diam	30
Gambar 3.4 Penerapan Hukum Pascal berupa dongkrak hidrolik.....	32
Gambar 3.5 Tekanan hidrostatik pada suatu titik.....	32
Gambar 3.6 Tekanan hidrostatik pada tampungan dengan bentuk berbeda.....	34
Gambar 3.7 Distribusi tekanan hidrostatik.....	35
Gambar 3.8 Hidrostatic Pressure Demonstrator	36
Gambar 3.9 Salah satu jenis manometer mikro	37
Gambar 3.10 Gaya hidrostatik pada bidang datar tegak	38
Gambar 3.11 Gaya hidrostatik pada bidang datar miring.....	38
Gambar 3.12 Gaya hidrostatik pada bidang lengkung.....	39
Gambar 3.13 Gaya hidrostatik pada bidang sembarang.....	41

Gambar 4.1 Gaya-gaya yang bekerja pada benda yang terendam dalam air	52
Gambar 4.2 Gaya-gaya yang bekerja pada benda sembarang yang terendam.....	53
Gambar 4.3 Kapal laut yang menerapkan Hukum Archimedes	54
Gambar 4.4 Gambar 4.4. Kestabilan benda yang terapung.....	55
Gambar 4.5 Tinggi metasentrum	55
Gambar 5.1 Lintasan gerak partikel zat cair	64
Gambar 5.2 Arah arus gerak partikel zat cair.....	64
Gambar 5.3 Tabung arus	65
Gambar 5.4 Aliran melalui curat.....	65
Gambar 5.5 Lintasan gerak zat cair	66
Gambar 5.6 Tabung aliran	68
Gambar 5.7 Persamaan kontinuitas pada pipa bercabang.....	69
Gambar 6.1 Elemen zat cair bergerak sepanjang garis arus ..	76
Gambar 6.2 Garis tenaga dan tekanan pada zat cair.....	79
Gambar 7.1 Pipa dengan curat.....	90
Gambar 7.2 Pipa dengan pompa	92
Gambar 7.3 Pipa dalam hubungan seri	94
Gambar 7.4 Pipa hubungan paralel.....	96
Gambar 7.5 Pipa menghubungkan tiga kolam	98
Gambar 7.6 Contoh suatu sistem jaringan pipa.....	101
Gambar 8.1 Salah satu contoh aliran melalui saluran terbuka	118
Gambar 8.2 Aliran yang Melewati Suatu Pias	118
Gambar 8.3 Gaya-gaya yang bekerja pada suatu pias (Hwang, 1981)	120
Gambar 8.4 Lengkung energi spesifik	122
Gambar 8.5 Aplikasi Prinsip Momentum	124
Gambar 9.1 Aliran melalui lubang (a) dan peluap (b)	128
Gambar 9.2 Vena kontrakta	128

Gambar 9.3 Lubang kecil.....	131
Gambar 9.4 Lubang terendam	135
Gambar 9.5 Lubang besar	135
Gambar 9.6 Aliran melalui lubang terendam (a) dan terendam sebagian (b)	137
Gambar 9.7 Lubang di bagian bawah Tangki	139
Gambar 9.8 Peluap ambang tipis (a) dan lebar (b).....	145
Gambar 9.9 Peluap ambang tipis (a) dan lebar (b).....	148
Gambar 9.10 Peluap tertekan dan kontraksi samping	148
Gambar 9.11 Peluap terjunan (a) dan terendam (b).....	149
Gambar 9.12 Peluap segi empat (a), segi tiga (b), dan trapesium (c).....	149
Gambar 9.13 Peluap segi empat.....	150
Gambar 9.14 Peluap segi empat dengan kecepatan awal	151
Gambar 9.15 Peluap segitiga	152
Gambar 9.16 Peluap trapesium.....	154
Gambar 9.17 Peluap ambang lebar.....	155
Gambar 9.18 Debit aliran melalui peluap terendam	158



PENDAHULUAN

A. Tujuan Intruksional Umum (TIU)

Mahasiswa diharapkan dapat merencanakan suatu bangunan air berdasarkan konsep mekanika fluida, teori hidrostatika dan hidrodinamika.

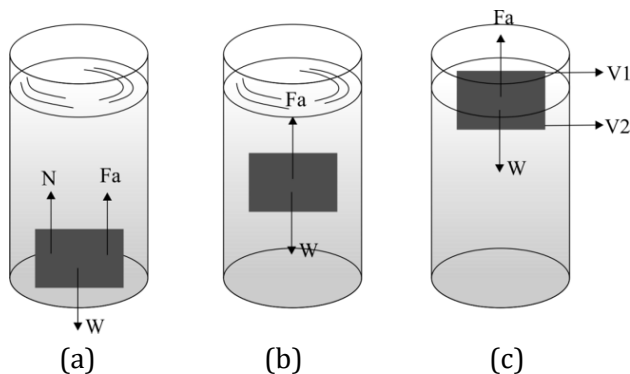
B. Tujuan Intruksional Khusus (TIK)

1. Mahasiswa dapat menjelaskan sejarah mekanika fluida
2. Mahasiswa dapat menjelaskan definisi dan ruang lingkup mekanika fluida
3. Mahasiswa dapat menjelaskan sifat-sifat umum fluida cair dan gas
4. Mahasiswa dapat menjelaskan perbedaan utama fluida dan zat padat
5. Mahasiswa dapat menjelaskan jenis-jenis aliran dalam fluida
6. Mahasiswa dapat menjelaskan dimensi dan satuan dalam ilmu mekanika fluida

C. Sejarah Mekanika Fluida

Mekanika fluida adalah suatu ilmu yang mempelajari perilaku fluida baik dalam keadaan diam (*static*) maupun bergerak (*dynamic*) serta akibat interaksi dengan media batasnya (zat padat atau fluida dengan γ lain). Seperti kebanyakan disiplin ilmu lainnya, mekanika fluida mempunyai sejarah panjang dalam pencapaian hasil-hasil pokok hingga menuju ke *era modern* seperti sekarang ini.

Pada masa prasejarah, kebudayaan-kebudayaan kuno sudah memiliki pengetahuan yang cukup untuk memecahkan persoalan-persoalan aliran tertentu. Sebagai contoh perahu layar yang sudah dilengkapi dengan dayung dan sistem pengairan untuk pertanian sudah dikenal pada masa itu. Pada abad ketiga sebelum Masehi, Archimedes dan Hero dari Iskandariah, memperkenalkan hukum jajaran genjang untuk penjumlahan vektor. Selanjutnya Archimedes (285-212 SM) merumuskan hukum apung dan menerapkannya pada benda-benda terapung atau melayang yang dapat dilihat pada Gambar 1.1, dan juga memperkenalkan bentuk kalkulus differensial sebagai bagian dari analisisnya.



Gambar 1.1 Benda dalam hukum Archimedes

(a) Benda tenggelam, (b) benda mengapung, dan (c) benda melayang.

Sejak permulaan Masehi sampai zaman *Renaissance* terus menerus terjadi perbaikan dalam rancangan sistem-sistem aliran, seperti: kapal, saluran, dan talang air. Akan tetapi tidak ada bukti-bukti adanya perbaikan yang mendasar dalam analisis alirannya. Akhirnya kemudian Leonardo da

Vinci (1452-1519) menjabarkan persamaan kekekalan massa dalam aliran tunak satu-dimensi. Leonardo da Vinci adalah ahli eksperimen yang ulung, dan catatan-catatannya berisi diskripsi yang seksama tentang gelombang, jet atau semburan, loncatan hidraulik, pembentukan pusaran, dan rancangan-rancangan seretan-rendah (bergaris-alir) serta seretan-tinggi (parasut). Galileo (1564-1642) memperkenalkan beberapa hukum tentang ilmu mekanika. Seorang Perancis, Edme Moriotte (1642-1684) membangun terowongan angin yang pertama dan menguji model-model di dalamnya.

Soal-soal yang menyangkut momentum fluida akhirnya dapat dianalisis setelah Isaac Newton (1642-1727) memperkenalkan hukum-hukum gerak dan hukum kekentalan untuk fluida linear yang sekarang dinamakan fluida Newton. Teori itu mula-mula didasarkan atas asumsi fluida ideal (sempurna) dan tanpa gesekan, dan para matematikawan abad kedelapan belas seperti: Daniel Bernoulli dan Leonhard Euler (Swiss), Clairaut dan D'Alembert (Perancis), Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), Pierre-Simon Laplace (1749-1827), dan Gerstner (1756-1832), mengembangkan ilmu matematika untuk mekanika fluida (Hidrodinamika), dan banyak menghasilkan penyelesaian-penyelesaian dari soal soal aliran tanpa gesekan. Euler mengembangkan persamaan gerak diferensial dan bentuk integralnya, yang sekarang disebut persamaan Bernoulli. D'Alembert memakai persamaan ini untuk menampilkan paradoksnya bahwa suatu benda yang terbenam di dalam fluida tanpa gesekan mempunyai seretan nol, sedangkan Gerstner memakai persamaan Bernoulli untuk menganalisis gelombang permukaan.

Hasil-hasil ini merupakan hal yang berlebihan, karena asumsi fluida sempurna dalam praktek hanya mempunyai penerapan yang sangat terbatas dan kebanyakan aliran di bidang teknik sangat dipengaruhi oleh efek kekentalan. Para ahli teknik mulai menolak teori yang sama sekali tidak realistik itu, dan mulai mengembangkan hidraulika yang bertumpu pada eksperimen. Ahli-ahli eksperimen seperti Pitot, Chezy, Borda, Bossut, Coulomb (1736-1806), Weber (1804-1891), Francis (1815-1892), Russel (1808-1882), Hagen (1797-1889), Frenchman Poiseuille (1799-1869), Frenchman Darcy (1803-1858), Manning (1816-1897), Bazin (1829- 1917), dan Saxon Weisbach (1806-1871) banyak menghasilkan data tentang beraneka ragam aliran seperti saluran terbuka, hambatan kapal, aliran melalui pipa, gelombang, dan turbin. Pada akhir abad kesembilan belas, hidraulika eksperimen dan hidrodinamika teoritis mulai dipadukan. William Froude (1810-1879) dan putranya, Robert (1842- 1924) mengembangkan hukum-hukum pengujian model, Lord Rayleigh (1842-1919) mengusulkan metode analisis dimensional, dan Osborne Reynolds (1842-1912) memperkenalkan bilangan Reynolds takberdimensi yang diambil dari namanya sendiri. Sementara itu, sejak Navier (1785- 1836) dan Stokes (1819-1903) menambahkan suku-suku kental newton pada persamaan gerak dan dikenal dengan persamaan Navier-Stokes, belum dapat digunakan untuk aliran sembarang. Selanjutnya pada tahun 1904, setelah seorang insinyur Jerman, Ludwig Prandtl (1875-1953), menerbitkan makalah yang barangkali paling penting yang pernah ditulis orang di bidang mekanika fluida. Prandtl menunjukkan bahwa aliran fluida yang kekentalannya rendah, seperti aliran air atau aliran udara, dapat dipilah menjadi suatu lapisan kental (lapisan batas) di dekat permukaan zat

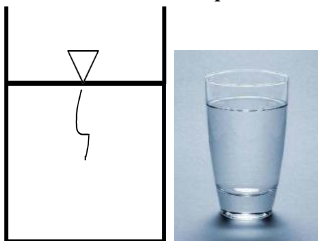
padat dan antar muka, dan lapisan luar yang hampir encer yang memenuhi persamaan Euler dan Bernoulli. Teori lapis batas ternyata merupakan salah satu alat yang paling penting dalam analisis-alisis aliran modern, disamping teori yang dikembangkan oleh Theodore von Karman (1881- 1963) dan Sir Geofrey I. Taylor (1886-1975).

D. Definisi Fluida

Mekanika fluida melihat semua bahan hanya terdiri atas dua keadaan saja, yaitu fluida dan zat padat. Secara teknis perbedaannya terletak pada reaksi kedua zat tersebut terhadap tegangan geser atau tegangan singgung yang dialaminya. Zat padat dapat menahan tegangan geser dengan deformasi yang tetap (*static*), sedangkan fluida, betapapun kecilnya tegangan geser yang diberikan, akan menyebabkan fluida itu bergerak. Fluida itu bergerak dan berubah bentuk secara terus-menerus selama tegangan geser itu bekerja. Oleh karena itu fluida yang diam (*hydrostatic*) berarti dalam keadaan tegangan gesernya nol. Secara lengkap perhatikan Gambar 1.2 berikut ini.

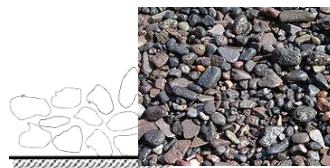
Fluida

1. Ikatan partikel-partikel fluida dalam skala molekuler cukup kecil.

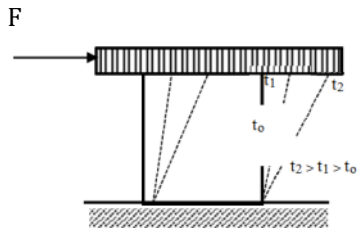


Zat padat

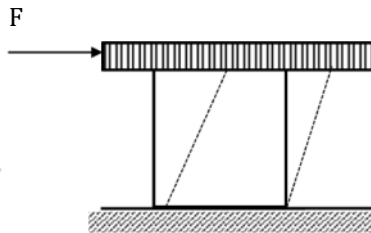
1. Ikatan partikel-partikelnya dalam skala molekuler cukup besar.



2. Menahan tegangan geser dengan deformasi yang dinamis (terus berubah)

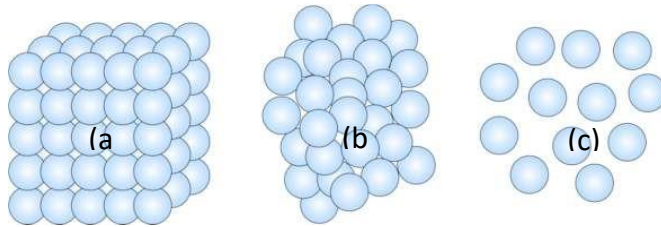


2. Menahan tegangan geser dengan deformasi yang tetap



Gambar 1.2 Perbedaan mendasar perilaku fluida dan zat padat

Berdasarkan definisi tersebut di atas, maka fluida dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu zat cair dan gas seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.3. Perbedaan antara keduanya juga bersifat teknis, yaitu berhubungan dengan akibat gaya kohesif. Zat cair terdiri atas molekul molekul tetap dan rapat dengan gaya kohesif yang relatif kuat, sehingga cenderung mempertahankan volumenya dan akan membentuk permukaan bebas yang rata dalam medan gravitasi. Sebaliknya gas, karena terdiri dari molekul-molekul yang tidak rapat dengan gaya kohesif yang cukup kecil (dapat diabaikan), sehingga volume gas dapat memuai dengan bebas dan terus berubah. Fluida dapat juga dibedakan berdasarkan kekentalannya, yaitu fluida nyata (*viscous fluid*) dan fluida ideal (*non viscous fluid*). Fluida nyata adalah fluida yang memiliki kekentalan, fluida ini dapat kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari contohnya air dan udara. Sedangkan fluida ideal, tidak ada dalam kehidupan sehari-hari dan hanya dipakai dalam teori dan kondisi-kondisi khusus saja.



Gambar 1.3 Molekul zat (a) padat, (b) cair, dan (c) gas.

1. Ruang Lingkup Mekanika Fluida

Bumi ini 75% tertutup oleh air (zat cair) dan 100% tertutup oleh udara (gas), oleh karena itu ruang lingkup mekanika fluida sangat luas dan menyentuh hampir seluruh segi kehidupan manusia. Ilmu cuaca, *oceanography* fisis, dan hidrologi bersangkutan dengan aliran-aliran secara alami, seperti juga halnya dengan penelaahan medis atas pernafasan dan peredaran darah. Semua masalah transportasi yang terkait dengan gerak fluida, dengan cabang-cabang khusus yang telah maju dalam aerodinamika pesawat udara dan roket, dan dalam hidrodinamika bahari kapal dan kapal selam. Di dalam bidang energi, hampir seluruh energi elektrik kita dibangkitkan dengan aliran air (PLTA) atau aliran uap (PLTU) yang memutar turbin. Semua masalah pembakaran yang melibatkan gerak fluida, seperti juga masalah-masalah pengairan, pengendalian banjir, penyediaan air, pembuangan limbah, gerak umpan atau proyektil, dan pembangunan jalur minyak dan gas.

2. Tipe Aliran Fluida

Tipe aliran dalam fluida dapat dibedakan menjadi beberapa macam aliran. Sebagai contoh, aliran tunak (*steady*) atau tak tunak (*unsteady*), seragam (*uniform*) atau tak seragam (*non-uniform*), termampatkan (*compressible*) atau

tak termampatkan (*incompressible*), dan subkritis (*sub critical*) atau superkritis (*supercritical*).

Aliran dikatakan tunak (*steady flow*) lihat contoh pada Gambar 1.4 jika kecepatan (v) tidak berubah (*constant*) selama selang waktu tertentu, sehingga akan berlaku:



Gambar 1.4 Contoh saluran dengan aliran tunak

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad (1.1)$$

$$Q = A \cdot V = \text{konstan} (Q_{in} = Q_{out}) \quad (1.2)$$

dan apabila kecepatan aliran selalu berubah selama selang waktu tertentu, maka dikatakan aliran tak tunak (*unsteady flow*), sebagai contoh, aliran banjir atau pasang surut seperti contoh pada Gambar 1.5, sehingga akan berlaku:



Gambar 1.5 Contoh sungai dengan aliran tak tunak

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0 \quad (1.3)$$

$$Q = A \cdot V = \text{tidak konstan} (Q_{in} \neq Q_{out}) \quad (1.4)$$

Aliran dikatakan seragam (*uniform flow*) jika kedalaman aliran pada setiap penampang saluran adalah tetap dan jika kedalamannya selalu berubah, maka dikatakan aliran tidak seragam (*non-uniform flow*) atau aliran berubah (*varied flow*). Aliran seragam dapat dibedakan lagi menjadi aliran seragam tunak (*steady uniform flow*) jika kedalaman dan kecepatan alirannya tetap sepanjang saluran.

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \text{ dan } \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (1.5)$$

dan apabila kedalaman alirannya tetap tetapi kecepatan alirannya selalu berubah sepanjang saluran, maka dikatakan aliran seragam tak tunak (*unsteady uniform flow*), ini tidak mungkin terjadi.

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0 \text{ dan } \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (1.6)$$

Aliran tak seragam atau berubah juga dapat dibedakan lagi menjadi aliran berubah tunak (*steady varied flow*), yaitu jika kedalaman aliran tidak tetap tetapi kecepatan alirannya tetap.

$$\frac{6v}{6t} = 0, \quad \frac{6Q}{6t} \neq 0 \quad \text{dan} \quad \frac{6p}{6x} \neq 0 \quad (1.7)$$

dan apabila kedalaman maupun kecepatan alirannya selalu berubah sepanjang saluran, maka dikatakan aliran berubah tak tunak (*unsteady varied flow*).

$$\frac{6v}{6t} \neq 0, \quad \frac{6Q}{6t} \neq 0 \quad \text{dan} \quad \frac{6p}{6x} \neq 0 \quad (1.8)$$

Aliran tak seragam atau berubah dapat juga dibedakan menjadi aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*), yaitu jika kedalaman aliran mendadak berubah pada jarak yang cukup pendek, misalnya aliran yang melewati mercu, bendung atau terjunan. Apabila kedalaman aliran berubah pada jarak yang cukup panjang, maka dikatakan aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*).

Aliran dikatakan termampatkan (*compressible flow*), jika aliran tersebut mengalami perubahan volume bila diberikan tekanan, dan sebaliknya jika tidak mengalami perubahan volume, dikatakan aliran tersebut tak termampatkan (*incompressible flow*).

Jenis aliran berdasarkan besarnya bilangan Froude (Fr), dapat dibedakan menjadi superkritis (*supercritical flow*), subkritis (*sub critical flow*) atau kritis (*critical flow*).

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gy/\alpha}} \quad (1.9)$$

di mana:

n = kecepatan aliran (m/det)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

y = kedalaman aliran (m)

a = koefesien energi

jika $F_r > 1$ dikatakan alirannya superkritis, $F_r < 1$ dikatakan aliran subkritis, dan jika $F_r = 1$ dikatakan aliran kritis.

Aliran juga dapat diklasifikasikan menjadi aliran satu dimensi (*onedimensional flow*), dua dimensi (*two-dimensional flow*) atau tiga dimensi (*threedimensional flow*), tergantung dari bilangan gradien kecepatan yang ada. Aliran satu dimensi adalah aliran dimana seluruh fluida dan parameter alirannya diasumsikan tetap terhadap penampang normal aliran, dan hanya ada satu gradien kecepatan, yaitu dalam arah aliran. Di dalam kenyataannya, tidak ada aliran satu dimensi karena adanya beberapa pembatas. Namun demikian, aliran pada sungai dapat didekati dengan aliran satu dimensi (*1-D flow*). Aliran dua dimensi adalah aliran dimana dibedakan dalam beberapa bidang secara paralel, horisontal atau vertikal (*2-DH* atau *2-DV*). Aliran dua dimensi memiliki dua gradien kecepatan. Aliran tiga dimensi adalah aliran dimana parameter alirannya berubah dalam tiga dimensi, sehingga gradien parameter alirannya terdapat dalam tiga arah.

E. Dimensi dan Satuan

Dimensi adalah ukuran untuk menyatakan peubah fisika secara kuantitatif. Satuan adalah suatu cara khusus untuk mengaitkan sebuah bilangan dengan dimensi kuantitatif. Jadi, panjang adalah suatu dimensi yang dapat dikaitkan dengan peubah-peubah seperti jarak, pergeseran, lebar, simpangan,

dan ketinggian. Meter atau inci keduanya merupakan satuan numeris untuk menyatakan panjang. Sistem satuan senantiasa berbeda-beda dari satu negara ke negara lain, walaupun kesepakatan internasional telah dicapai. Pada mulanya banyak dipakai satuan Inggris, karena terlalu banyak menggunakan faktor konversi, maka dianggap rumit dan tidak praktis. Pada tahun 1872 suatu pertemuan internasional di Perancis mengusulkan suatu perjanjian yang disebut Konvensi Metrik, yang ditandatangani oleh 17 negara. Konvensi Metrik merupakan perbaikan atas sistem Inggris, yaitu dengan memperkenalkan sistem desimal. Masalah tetap ada, sebab beberapa negara yang sudah menggunakan sistem metrik pun masih menggunakan sistem Inggris untuk satuan-satuan tertentu, contohnya kalori padahal seharusnya *joule*, *kilopond* padahal seharusnya *newton*, dan sebagainya. Konferensi umum tentang timbangan dan ukuran diselenggarakan pada tahun 1960 untuk membakukan sistem metrik. Konferensi ini mengusulkan Sistem Satuan Internasional (SI), seperti yang selama ini kita pakai. Di dalam mekanika fluida hanya ada empat dimensi pokok. Semua dimensi lainnya dapat diturunkan dari keempat dimensi pokok ini. Dimensi pokok itu ialah massa, panjang, waktu dan suhu.

Tabel 1.1 Dimensi-dimensi pokok dalam sistem SI

Dimensi pokok	Satuan
Massa	Kilogram (kg)
Panjang	Meter (m)
Waktu	Sekon (s)
Suhu	Kelvin (K)

Tabel 1.2 Dimensi-dimensi turunan dalam mekanika fluida dalam sistem SI

Dimensi pokok	Satuan
Luas (L^2)	m^2
Volume (L^3)	m^3
Kecepatan (LT^{-1})	m/s
Percepatan (LT^{-2})	m/s^2
Tekanan ($ML^{-1} T^{-2}$)	$Pa=N/m^2$
Kecepatan sudut (T^{-1})	s^{-1}
Energi, kalor, usaha ($ML^2 T^{-2}$)	$J=N.m$
Daya ($ML^2 T^{-3}$)	$W=J/s$
Kerapatan (ML^{-3})	kg/m^3
Kekentalan ($ML^{-1} T^{-1}$)	$kg/(m.s)$
Kalor spesifik ($L^2 T^{-2}K^{-1}$)	$m^2/(s^2.K)$



SIFAT-SIFAT ZAT CAIR

A. Tujuan Intruksional Umum (TIU)

Mahasiswa diharapkan dapat merencanakan suatu bangunan air berdasarkan konsep mekanika fluida, teori hidrostatika dan hidrodinamika.

B. Tujuan Intruksional Khusus (TIK)

1. Mahasiswa dapat menerangkan pengertian rapat masa, berat jenis, rapat relatif, viskositas, kemampatan, kapilaritas, dan tegangan permukaan.
2. Mahasiswa dapat menghitung nilai rapat masa, berat jenis, rapat relatif, viskositas, kemampatan, kapilaritas, dan tegangan permukaan untuk suatu studi kasus.

C. Pendahuluan

Semua fluida nyata (gas dan zat cair) memiliki sifat-sifat khusus yang dapat diketahui, antara lain: rapat massa (*density*), kekentalan (*viscosity*), kemampatan (*compressibility*), tegangan permukaan (*surface tension*), dan kapilaritas (*capillarity*). Beberapa sifat fluida pada kenyataannya merupakan kombinasi dari sifat-sifat fluida lainnya. Sebagai contoh kekentalan kinematik melibatkan kekentalan dinamik dan rapat massa. Sejauh yang kita ketahui, fluida adalah gugusan yang tersusun atas molekul-molekul dengan jarak pisah yang besar untuk gas dan kecil untuk zat cair. Molekul itu tidak terikat pada suatu kisi, melainkan saling bergerak bebas terhadap satu sama lain.

D. Rapat Massa (*density*)

Rapat massa (ρ) adalah ukuran konsentrasi massa zat cair dan dinyatakan dalam bentuk massa (m) persatuan volume (V) contoh untuk mencari massa dan volume dapat dilihat pada Gambar 2.1.

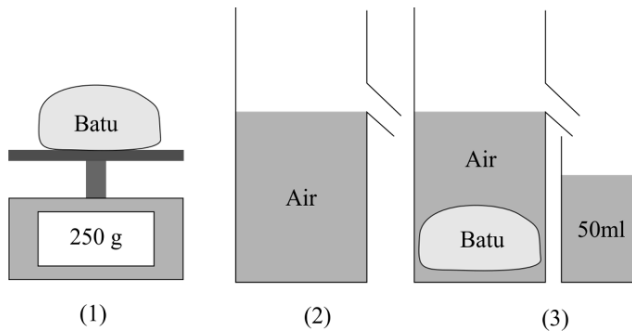
$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.1)$$

dimana:

m = massa

v = volume

Rapat massa air (ρ_{air}) pada suhu 4°C dan pada tekanan atmosfer (p_{atm}) adalah 1000 kg/m^3 .



Gambar 2.1 Rapat massa air

Langkah (1) adalah untuk mencari massa benda dan langkah (3) adalah untuk mencari volume benda.

Berat jenis (γ) adalah berat benda persatuan volume pada temperatur dan tekanan tertentu, dan berat suatu benda adalah hasil kali antara rapat massa (ρ) dan percepatan gravitasi (g).

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (2.2)$$

Rapat relatif (s) adalah perbandingan antara rapat massa suatu zat (ρ) dan rapat massa air (ρ_{air}), atau perbandingan antara berat jenis suatu zat (γ) dan berat jenis air (γ_{air}).

$$s = \frac{\rho_{zat\ cair}}{\rho_{air}} \text{ atau } s = \frac{\gamma_{zat\ cair}}{\gamma_{air}} \quad (2.3)$$

Karena pengaruh temperatur dan tekanan pada rapat massa zat cair sangat kecil, maka dapat diabaikan sehingga rapat massa zat cair dapat dianggap tetap.

E. Kekentalan (*viscosity*)

Kekentalan adalah sifat dari zat cair untuk melawan tegangan geser (r) pada waktu bergerak atau mengalir. Kekentalan disebabkan adanya kohesi antara partikel zat cair sehingga menyebabkan adanya tegangan geser antara molekulmolekul yang bergerak. Zat cair ideal tidak memiliki kekentalan. Kekentalan zat cair dapat dibedakan menjadi dua yaitu kekentalan dinamik (μ) atau kekentalan *absolute* dan kekentalan kinematis (ν). Contoh mengenai kekentalan zat cair dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Gambaran tingkat kekentalan dalam zat cair.

Dalam beberapa masalah mengenai gerak zat cair, kekentalan dinamik dihubungkan dengan kekentalan kinematik sebagai berikut:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.4)$$

Dalam beberapa masalah mengenai gerak zat cair, kekentalan dinamik dihubungkan dengan kekentalan kinematik sebagai berikut: dengan ρ adalah rapat massa zat cair (kg/m^3).

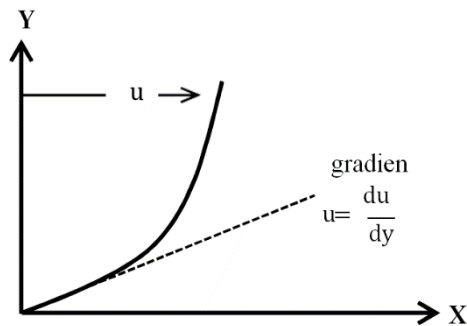
Kekentalan kinematik besarnya dipengaruhi oleh temperatur (T), pada temperatur yang tinggi kekentalan kinematik zat cair akan relatif kecil dan dapat diabaikan.

$$v = \frac{40.1-6}{20+T} \quad (2.5)$$

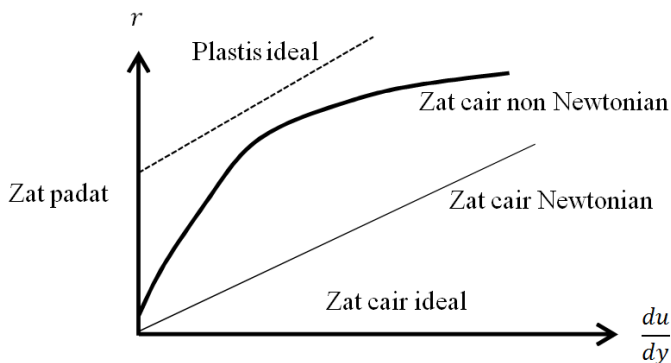
dengan T adalah suhu zat cair ($^{\circ}\text{C}$)

Zat cair Newtonian adalah zat cair yang memiliki tegangan geser (τ) sebanding dengan gradien kecepatan normal (du/dy) terhadap arah aliran.

Gradien kecepatan adalah perbandingan antara perubahan kecepatan dan perubahan jarak tempuh aliran (Gambar 2.3). Hubungan tegangan geser dan gradien kecepatan normal dari beberapa bahan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Gradien kecepatan



Gambar 2.4 Hubungan Tegangan geser dengan gradien kecepatan

Bila fluida Newtonian dan aliran yang terjadi adalah laminar maka berlaku hubungan:

$$r = \mu \frac{du}{dy} \quad \text{atau} \quad r = \rho \nu \frac{du}{dy} \quad (2.6)$$

dimana :

r = tegangan geser (kg/m^2)

μ = kekentalan dinamis (kg/m.det) ν = kekentalan kinematis (m^2/det)

ρ = densitas fluida (kg/m^3)

$\frac{du}{dy}$ = gradien kecepatan

F. Kemampatan (*compressibility*)

Kemampatan adalah perubahan volume karena adanya perubahan (penambahan) tekanan, yang ditunjukkan oleh perbandingan antara perubahan tekanan dan perubahan volume terhadap volume awal. Perbandingan tersebut dikenal dengan modulus elastisitas (k).

$$k = \frac{dp}{\left(\frac{dV}{V}\right)} \quad (2.7)$$

Nilai k untuk zat air sangat besar yaitu $2,1 \times 10^9 \text{ N/m}$, sehingga perubahan volume karena perubahan tekanan akan sangat kecil dan dapat diabaikan, sehingga zat cair merupakan fluida yang tidak dapat termampatkan (*incompressible*).

G. Tegangan permukaan (*surface tension*)

Molekul-molekul pada zat cair akan saling tarik menarik secara seimbang diantara sesamanya dengan gaya berbanding lurus dengan massa (m) dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak (r) antara pusat massa, gambaran mengenai tegangan permukaan zat cair dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Contoh tegangan permukaan pada zat cair.

$$F = \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.8)$$

dengan:

- F = gaya tarik menarik
- m_1, m_2 = massa molekul 1 dan 2
- r = jarak antar pusat massa molekul.

Jika zat cair bersentuhan dengan udara atau zat lainnya, maka gaya tarik menarik antara molekul tidak seimbang lagi dan menyebabkan molekul- molekul pada permukaan zat cair melakukan kerja untuk tetap membentuk permukaan zat cair. Kerja yang dilakukan oleh molekul-molekul pada

permukaan zat cair tersebut dinamakan tegangan permukaan (σ). Tegangan permukaan hanya bekerja pada bidang permukaan dan besarnya sama di semua titik.

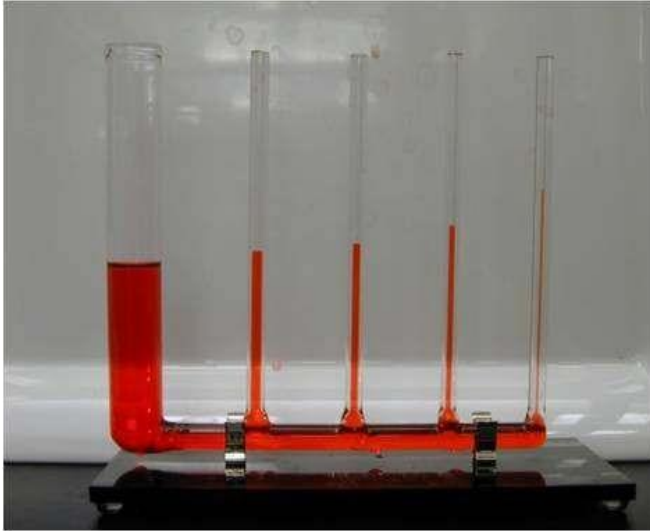
Tegangan permukaan zat cair pada beberapa temperatur ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tegangan permukaan zat cair pada beberapa temperatur

Suhu (°C)	Tegangan permukaan x 10 ⁻² (N/m)
0	7,56
4	7,54
10	7,48
20	7,36
30	7,18
40	7,01
50	6,82
60	6,68
70	6,50
80	6,30
90	6,12
100	5,94

H. Kapilaritas (*capillarity*)

Kapilaritas terjadi akibat adanya gaya kohesi dan adhesi antar molekul, jika kohesi lebih kecil dari pada adhesi maka zat air akan naik dan sebaliknya jika lebih besar maka zat cair akan turun. Kenaikan atau penurunan zat cair di dalam suatu tabung dapat dihitung dengan menyamakan gaya angkat yang dibentuk oleh tegangan permukaan dengan gaya berat, contoh mengenai kapilaritas zat cair dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Semakin kecil diameter pipa kapiler maka semakin tinggi zat cair di dalamnya

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\gamma r} \quad (2.9)$$

Dimana:

h = kenaikan atau penurunan zat cair

σ = tegangan permukaan

γ = berat jenis zat cair

θ = akan sama dengan 0° untuk air dan 140° untuk air raksa

r = jari-jari tabung

I. Pelatihan

1. Jika satu liter minyak mempunyai berat $W = 0,7$ kgf. Hitung berat jenis, rapat massa, dan rapat relatif minyak tersebut.

Penyelesaian.

Volume minyak

$$V = 1,0 \text{ liter} = 0,001 \text{ m}^3$$

Berat jenis

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{0,7}{0,001} = 700 \text{ kgf/m}^2$$

Rapat massa

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{700}{9,81} = 71,36 \text{ kgf} \cdot \frac{\text{det}^2}{\text{m}^2} \text{ atau } 700 \text{ kgm/m}^2$$

Rapat relatif

$$s = \frac{\gamma_{\text{minyak}}}{\gamma_{\text{air}}} = \frac{700}{1000} = 0,70$$

2. Hitung kekentalan kinematik zat cair yang mempunyai rapat relatif 0,95 dan kekentalan dinamik 0,0011 N.det/m²

Penyelesaian

$$s = \frac{\rho_{\text{zat cair}}}{\rho_{\text{air}}}$$

$$\rho_{\text{zat cair}} = s \cdot \rho_{\text{air}} = 0,95 \times 1000 = 950 \text{ kg/m}^2$$

Kekentalan kinematik

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,0011}{950} = 1,16 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$$

J. Soal Latihan

1. Suatu tangki berisi zat cair dengan massa 1200 kg dan volume $0,952 \text{ m}^3$. Hitung berat, rapat massa, berat jenis, dan rapat jenis zat cair.
2. Dua buah plat berbentuk bujursangkar dengan sisi 0,6 m, saling sejajar dan berjarak 12,5 mm. Di antara kedua plat terdapat oli. Plat bawah diam dan plat atas bergerak dengan kecepatan 2,5 m/d, dan diperlukan gaya 100 N untuk menjaga kecepatan tersebut. Hitung viskositas dinamik dan kinematik oli apabila rapat relatifnya adalah 0,95.
3. Suatu tabung berdiameter 0,4 cm jika dimasukkan secara vertikal ke dalam air, sudut kontaknya 60° . Jika tegangan permukaan air $0,5 \text{ N/m}$ dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukanlah kenaikan air pada tabung.
4. Sebatang kawat dibengkokkan seperti huru U. Kemudian kawat kecil PQ yang bermassa 0,2 gram dipasang dalam kawat tersebut (perhatikan gambar). Kemudian kawat tersebut dicelupkan ke dalam cairan sabun dan diangkat vertikal sehingga ada lapisan tipis sabun di antara kawat tersebut. Ketika ditarik ke atas kawat kecil mengalami gaya tarik ke atas oleh lapisan sabun. Agar terjadi keseimbangan, maka pada kawat kecil PQ digantungkan benda dengan massa 0,1 gram. Jika panjang kawat PQ = 10 cm dan nilai gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$, berapa tegangan permukaan lapisan sabun tersebut?

