

RENCANA PERKULIAHAN

Pertemuan	Materi Kuliah	Buku
1	Sistem satuan dan dimensi Sifat-sifat fluida : Massa jenis, volume jenis, berat jenis, spesifik gravitasi, viskositas, tekanan jenuh, tegangan permukaan, kecepatan suara	
2	Statika fluida : Tekanan; variasi tekanan fluida diam; tekanan absolute, gage dan vakum; alat ukur tekanan	
3	Statika fluida : Gaya hidrostatik dan lokasi pusat tekanan	
4	Statika fluida: Gaya angkat dan stabilitas, variasi tekanan fluida dalam wadah yang dipercepat translasi dan rotasi	
5	Dasar dinamika fluida Persamaan Bernoulli, pengukuran tekanan	
6	Kinematika fluida: Medan kecepatan, percepatan, garis arus, gerakan elemen fluida (translasi, rotasi), persamaan Bernoulli Kinematika fluida: Tekanan statik, stagnasi dan dinamik, teorema Transport Reynolds	
8	UJIAN TENGAH SEMESTER	
9	Analisis Volume Atur: Persamaan kontinuitas dan kekekalan massa Persamaan kontinuitas Volume Atur diam Volume Atur bergerak	
10	Analisis Volume Atur: Hukum Newton II, momentum linier dan aplikasi	
11	Analisis Volume Atur: Momen momentum dan aplikasi	
12	Analisis Volume Atur: Hukum Termodinamika I	
13	Analisis Differensial: Kinematika elemen fluida, kekekalan massa Medan kecepatan dan percepatan Deformasi angular dan linier Persamaan differensial kontinuitas Fungsi Garis Arus	
14	Analisis Differensial: Momentum linier, aliran inviskid Persamaan Euler, Bernoulli Airan irrotasional Potensial kecepatan Analisis Differensial: Aliran potensial Aliran seragam, source dan sink, vortex, doublet Analisis Differensial: Aliran viskos, persamaan Navier Stokes	
15	Analisis Dimensional, kesebangunan dan pengujian model	
16	UJIAN AKHIR SEMESTER	

- Ref. : Munson, Young, Okiishi, Fundamentals of Fluid Mechanics, 2nd Ed., 1994, Wiley
SN Dikti, Permenritekdikti RI No. 44 tahun 2015

11 ASPEK PROFIL MUTU LULUSAN SARJANA TEKNIK

1. Mampu menerapkan pengetahuan matematika, ilmu pengetahuan dan engineering.
2. Mampu merancang dan melaksanakan eksperimen termasuk menganalisis dan menafsirkan data/hasil uji.
3. Mampu merancang suatu sistem, proses dan metode untuk memenuhi kebutuhan yang diinginkan.
4. Mampu mengidentifikasi, memformulasikan dan memecahkan masalah engineering.
5. Mampu berperan atau berfungsi dalam suatu tim kerja multidisiplin.
6. Paham terhadap tanggung jawab dan etika professional.
7. Mampu berkomunikasi secara efektif.
8. Paham terhadap dampak dari penyelesaian engineering dalam konteks sosial dan global
9. Sadar terhadap kebutuhan serta kemampuannya melalui proses belajar sepanjang hayat.
10. Pengetahuan terhadap masalah mutakhir.
11. Mampu menggunakan teknik-teknik, keterampilan dan peralatan modern yang diperlukan dalam praktek engineering.

Metodologi Penyelesaian Masalah (Soal)

1. Gambarkan sketsa persoalan yang sedang dihadapi.
2. Tuliskan semua besaran yang diketahui. Bila perlu ubah satuannya ke dalam satuan yang memudahkan proses perhitungan nantinya.
3. Tuliskan besaran yang tidak diketahui, tuliskan pada sketsa di atas.
4. Tuliskan berbagai asumsi yang relevan.
5. Cari persamaan dasar yang menghubungkan besaran yang tidak diketahui dengan besaran yang diketahui.
6. Selesaikan persamaan dasar tersebut untuk mencari besaran yang tidak diketahui.
7. Substitusikan besaran yang diketahui ke dalam persamaan akhir berikut satuannya.
8. Lakukan proses perhitungan untuk mendapatkan jawaban yang diinginkan. Pastikan satuan di kedua ruas sama.
9. Periksa, apakah jawaban yang diperoleh "reasonable".

KONVERSI SATUAN

Panjang	1 ft = 12 in = 0.3048 m 1 mil = 1.609 km 1 km = 1000 m
Volume	1 gal = 3.785 liter 1 liter = 10^{-3} m ³
Waktu	1 h = 60 min = 3600 s 1 ms = 10^{-3} s 1 μ s = 10^{-6} s
Massa	1 kg = 1000 g = 2.2046 lbm 1 slug = 32.174 lbm
Gaya	1 lbf = 4.448 N
Energi	1 Btu = 778.16 ft.lbf = 1.055 kJ 1 cal = 4.186 J
Daya	1 hp = 550 ft.lbf/s = 2545 Btu/h = 746 W 1 kW = 3412 Btu/h
Tekanan	1 atm = 14.7 Psi = 101.3 kPa = 1 bar = 10 mH ₂ O = 760 cmHg
Temperatur	$^{\circ}\text{F} = 1.8 T_c + 32^{\circ}$ $^{\circ}\text{C} = (5/9) (T_F - 32^{\circ})$ R = 1.8 K

PERATURAN MENTERI RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
REPUBLIK INDONESIA

NOMOR 44 TAHUN 2015

TENTANG

STANDAR NASIONAL PENDIDIKAN TINGGI



PERATURAN MENTERI RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
REPUBLIK INDONESIA

NOMOR 50 TAHUN 2018

TENTANG

PERUBAHAN ATAS PERATURAN MENTERI RISET, TEKNOLOGI, DAN
PENDIDIKAN TINGGI NOMOR 44 TAHUN 2015 TENTANG STANDAR
NASIONAL PENDIDIKAN TINGGI

Karakteristik Proses Pembelajaran

- ▶ interaktif,
- ▶ holistik,
- ▶ integratif,
- ▶ saintifik,
- ▶ kontekstual,
- ▶ tematik,
- ▶ efektif,
- ▶ kolaboratif, dan
- ▶ berpusat pada mahasiswa



Untuk meraih CP
ulusan

Metode Pembelajaran

▶ dapat dipilih untuk pelaksanaan pembelajaran mata kuliah antara lain:

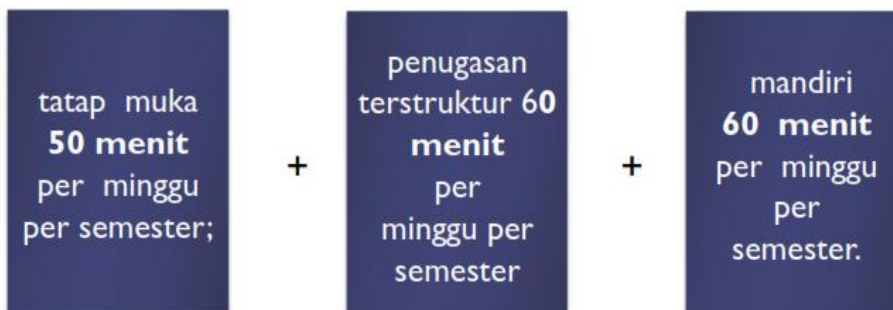
- ▶ diskusi kelompok,
- ▶ simulasi,
- ▶ studi kasus,
- ▶ pembelajaran kolaboratif,
- ▶ pembelajaran kooperatif,
- ▶ pembelajaran berbasis proyek,
- ▶ pembelajaran berbasis masalah, atau
- ▶ metode pembelajaran lain,

Setiap mata kuliah dapat menggunakan satu atau gabungan dari beberapa metode pembelajaran dan diwadahi dalam suatu bentuk pembelajaran.

yang dapat secara efektif memfasilitasi pemenuhan capaian pembelajaran lulusan.

Kuliah, Responsi dan Tutorial

▶ 1 sks =



Tingkat Kedalaman dan Keluasan Materi Pembelajaran

- ▶ dirumuskan dengan mengacu pada deskripsi capaian pembelajaran lulusan dari KKNl.
- ▶ Untuk beberapa program pendidikan (lainnya, lihat Permenristekdikti 44 2015):
 - ▶ lulusan program **diploma empat** dan **sarjana** paling sedikit menguasai konsep teoritis bidang pengetahuan dan keterampilan tertentu secara umum dan konsep teoritis bagian khusus dalam bidang pengetahuan dan keterampilan tersebut secara mendalam;
 - ▶ lulusan program **magister, magister terapan, dan spesialis** satu paling sedikit menguasai teori dan teori aplikasi bidang pengetahuan tertentu;
 - ▶ lulusan program **doktor, doktor terapan, dan subspecialis** paling sedikit menguasai filosofi keilmuan bidang pengetahuan dan keterampilan tertentu.
- ▶ bersifat **kumulatif** dan/atau **integratif**.
- ▶ dituangkan dalam bahan kajian yang distrukturkan dalam bentuk **mata kuliah**.

1

SIFAT-SIFAT FLUIDA

MEKANIKA FLUIDA

Mekanika fluida adalah disiplin ilmu mekanika terapan yang berhubungan dengan perilaku cairan dan gas dalam keadaan diam atau bergerak. Prinsip-prinsip mekanika fluida dibutuhkan untuk menjelaskan mengapa pesawat terbang dibuat streamline dengan permukaan yang halus untuk efisiensi penerbangan; mengapa bola golf mempunyai permukaan kasar untuk meningkatkan efisiensinya; bagaimana roket dapat memberikan gaya dorong yang sangat besar untuk membawa pesawat ruang angkasa; bagaimana informasi suatu model pesawat dapat digunakan untuk mendisain pesawat yang sesungguhnya, dan sebagainya.

Mekanika fluida dapat dikelompokkan dalam

- STATIKA FLUIDA
- KINEMATIKA FLUIDA
- DINAMIKA FLUIDA

STATIKA FLUIDA

Membahas fluida dalam keadaan diam atau fluida dalam suatu wadah yang bergerak dengan cara sedemikian rupa sehingga tidak ada gerakan relatif antara partikel fluida. Dalam fluida diam tidak ada tegangan geser dan yang terjadi hanya gaya dari partikel fluida pada permukaan yang disebabkan oleh tekanan fluida. Perhatian utama statika fluida adalah mengkaji tekanan dan variasi tekanan dalam fluida dan efek tekanan pada permukaan yang terendam.

KINEMATIKA FLUIDA

Membahas mengenai medan kecepatan dan percepatan fluida serta visualisasi aliran fluida. Di dalam kinematika dibahas secara rinci mengenai gerakan fluida.

DINAMIKA FLUIDA

Membahas mengenai gaya-gaya yang disebabkan oleh suatu aliran fluida atau gaya-gaya menyebabkan fluida mengalir.

BAHASAN KINEMATIKA FLUIDA

- Gerakan Elemen Fluida
- Medan Kecepatan dan Percepatan
- Aliran 1D, 2D, dan 3D
- Streamline, Streakline, Pathline
- Deformasi linier
- Deformasi Angular
- Konservasi Massa
- Fungsi Garis Arus
- Momen Momentum
- Aliran Non-Viskos
- Potensial Kecepatan / Aliran Potensial

BAHASAN DINAMIKA FLUIDA

- Gaya sepanjang garis arus (Pers. Bernoulli)
- Teorema Transport Reynolds
- Pers. Kontinuitas volume atur
- Momentum Linier
- Momentum Angular
- Pers. Energi
- Aliran viskos dalam pipa
- Aliran di sekitar benda

DIMENSI DAN SATUAN

Dimensi adalah nama yang diberikan pada setiap besaran yang terukur. Panjang, massa, waktu, luas dan kecepatan semuanya adalah dimensi. **Besaran primer** sistem dimensi tertentu adalah berbagai besaran yang diberikan skala ukuran yang sembarang. **Besaran sekunder** adalah berbagai besaran yang dimensinya dinyatakan dengan dimensi besaran sekunder.

TABLE 1.1
Dimensions Associated with Common Physical Quantities

	<i>FLT</i> System	<i>MLT</i> System
Acceleration	LT^{-2}	LT^{-2}
Angle	$F^0L^0T^0$	$M^0L^0T^0$
Angular acceleration	T^{-2}	T^{-2}
Angular velocity	T^{-1}	T^{-1}
Area	L^2	L^2
Density	$FL^{-4}T^2$	ML^{-3}
Energy	FL	ML^2T^{-2}
Force	F	MLT^{-2}
Frequency	T^{-1}	T^{-1}
Heat	FL	ML^2T^{-2}
Length	L	L
Mass	$FL^{-1}T^2$	M
Modulus of elasticity	FL^{-2}	$ML^{-1}T^{-2}$
Moment of a force	FL	ML^2T^{-2}
Moment of inertia (area)	L^4	L^4
Moment of inertia (mass)	FLT^2	ML^2
Momentum	FT	MLT^{-1}
Power	FLT^{-1}	ML^2T^{-3}
Pressure	FL^{-2}	$ML^{-1}T^{-2}$
Specific heat	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$
Specific weight	FL^{-3}	$ML^{-2}T^{-2}$
Strain	$F^0L^0T^0$	$M^0L^0T^0$
Stress	FL^{-2}	$ML^{-1}T^{-2}$
Surface tension	FL^{-1}	MT^{-2}
Temperature	Θ	Θ
Time	T	T
Torque	FL	ML^2T^{-2}
Velocity	LT^{-1}	LT^{-1}
Viscosity (dynamic)	$FL^{-2}T$	$ML^{-1}T^{-1}$
Viscosity (kinematic)	L^2T^{-1}	L^2T^{-1}
Volume	L^3	L^3
Work	FL	ML^2T^{-2}

Contoh, panjang dan waktu dipilih sebagai besaran primer, dan kecepatan serta luas merupakan besaran sekunder.

Skala primer suatu ukuran disebut juga sebagai **satuan**. Contohnya, feet, inci, meter, semuanya merupakan satuan panjang. Berbagai sistem dimensi berberda bukan oleh satuan yang digunakan melainkan oleh dimensi primernya.

SI (System International) menggunakan panjang, waktu dan massa sebagai besaran primer sedangkan semua besaran lainnya adalah besaran sekunder. Berbeda halnya dengan sistem Inggris yang masih banyak digunakan. Besaran gaya, panjang dan waktu dipilih sebagai besaran primernya dan yang lainnya termasuk massa merupakan besaran sekunder.

TABLE 1.3 Conversion Factors from BG and EE Units to SI Units*

	To Convert from	to	Multiply by
Acceleration	ft/s ²	m/s ²	3.048 E - 1
Area	ft ²	m ²	9.290 E - 2
Density	lbm/ft ³	kg/m ³	1.602 E + 1
	slugs/ft ³	kg/m ³	5.154 E + 2
Energy	Btu	J	1.055 E + 3
	ft-lb	J	1.356
Force	lb	N	4.448
Length	ft	m	3.048 E - 1
	in.	m	2.540 E - 2
	mile	m	1.609 E + 3
Mass	lbm	kg	4.536 E - 1
	slug	kg	1.459 E + 1
Power	ft-lb/s	W	1.356
	hp	W	7.457 E + 2
Pressure	in. Hg (60 °F)	N/m ²	3.377 E + 3
	lb/ft ² (psf)	N/m ²	4.788 E + 1
	lb/in. ² (psi)	N/m ²	6.895 E + 3
Specific weight	lb/ft ³	N/m ³	1.571 E + 2
Temperature	°F	°C	$T_C = (5/9)(T_F - 32°)$
	°R	K	5.556 E - 1
Velocity	ft/s	m/s	3.048 E - 1
	mi/hr (mph)	m/s	4.470 E - 1
Viscosity (dynamic)	lb-s/ft ²	N-s/m ²	4.788 E + 1
Viscosity (kinematic)	ft ² /s	m ² /s	9.290 E - 2
Volume flowrate	ft ³ /s	m ³ /s	2.832 E - 2
	gal/min (gpm)	m ³ /s	6.309 E - 5

* If more than four-place accuracy is desired, refer to Appendix A.

SIFAT-SIFAT FLUIDA

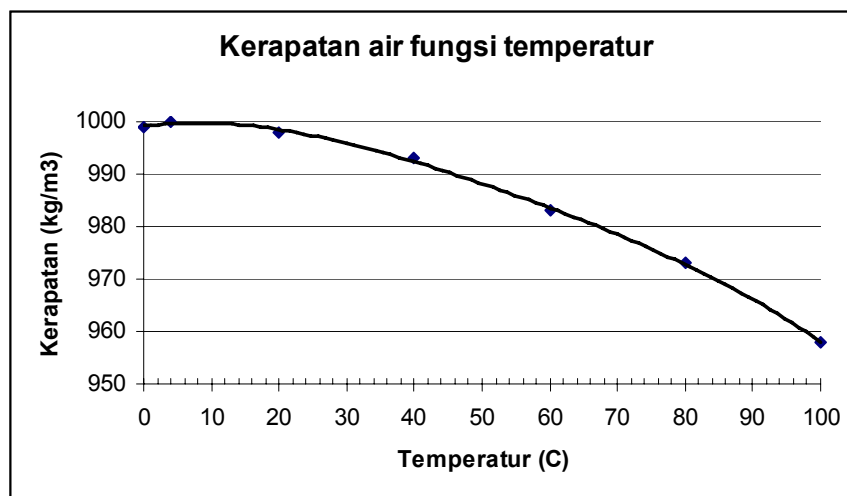
Apa yang dimaksud dengan fluida ? Apa perbedaan antara fluida dan benda padat (solid) ? Benda padat adalah “keras” dan tidak mudah terdeformasi, sedangkan fluida “lunak” dan mudah terdeformasi. Benda padat (baja, beton, dsb) mempunyai struktur molekul sangat rapat dengan ikatan antar molekul yang sangat kuat sehingga benda padat mampu mempertahankan bentuknya dan tidak mudah terdeformasi. Cairan (air, olie, dsb) mempunyai molekul yang terpisah jauh, gaya antar molekul kecil daripada benda padat dan molekul-molekulnya lebih bebas bergerak. Dengan demikian cairan lebih mudah terdeformasi (tapi tidak mudah dikompresi) dan dapat dituangkan ke dalam suatu wadah atau dimasukkan ke dalam tabung. Gas (udara, oksigen, dsb) mempunyai jarak molekul yang lebih besar dan bebas bergerak dengan mengabaikan gaya kohesi antar molekul dan akibatnya mudah terdeformasi (dan dikompresi) dan akan selalu mengisi volume wadah yang ditempatinya. Fluida dapat didefinisikan juga sebagai suatu zat yang terdeformasi secara kontinu bila ada tegangan geser. Tegangan geser dihasilkan apabila ada gaya tangensial pada suatu permukaan.

Kerapatan (Density)

Kerapatan suatu fluida, ρ (rho) didefinisikan sebagai massa persatuan volume. Kerapatan sering digunakan untuk karakterisasi massa suatu fluida. Dalam SI satuan kerapatan adalah kg/m^3 sedangkan dalam British adalah slug/ft^3 .

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

Harga kerapatan suatu fluida berbeda dengan fluida lainnya, untuk cairan pengaruh tekanan dan temperatur sangat kecil terhadap harga kerapatan.



Volume spesifik (Specific volume)

Volume spesifik didefinisikan sebagai volume per satuan massa (kebalikan dari kerapatan).

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

Sifat fluida ini jarang digunakan dalam mekanika fluida tapi sering digunakan dalam termodinamika.

Berat Spesifik (Specific Weight)

Berat spesifik suatu fluida, γ didefinisikan sebagai beratnya per satuan volume.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \frac{m}{V} g = \rho g$$

Kerapatan menggambarkan massa suatu fluida sedangkan berat spesifik menggambarkan berat suatu fluida.

Gravitas Spesifik (Specific Gravity)

Gravitas spesifik suatu cairan, $S.G_{\text{cairan}}$ didefinisikan sebagai rasio densitas cairan dan densitas air pada temperatur yang ditentukan. Biasanya pada temperatur 4°C. Pada temperatur tersebut densitas air adalah 1000 kg/m³ atau 1.94 slugs/ft³.

$$S.G_{\text{cairan}} = \frac{\rho_{\text{cairan}}}{\rho_{H_2O}}$$

$$S.G_{\text{gas}} = \frac{\rho_{\text{gas}}}{\rho_{\text{udara}}}$$

Beberapa sifat cairan

Cairan	T(°C)	ρ (kg/m ³)	μ (Ns/m)	σ (N/m)	P_v (Pa. Abs)	E_v (Pa)
Gasoline	15.6	680	3.10×10^{-4}	2.20×10^{-2}	5.50×10^4	1.30×10^9
Glycerin	20	1260	1.50×10^{-0}	6.33×10^{-2}	1.40×10^2	4.52×10^9
Mercury	20	13600	1.57×10^{-3}	4.66×10^{-1}	1.60×10^1	2.85×10^{10}
SAE30	15.6	912	3.80×10^{-1}	3.60×10^{-2}	-	1.50×10^9
Seawater	15.6	1030	1.20×10^{-3}	7.34×10^{-2}	1.77×10^3	2.34×10^9
Water	15.6	999	1.12×10^{-3}	7.34×10^{-2}	1.77×10^3	2.15×10^9
Ethyl alcohol	20	789	1.19×10^{-3}	2.28×10^{-2}	5.90×10^3	1.06×10^9
HSD	20	845				

Beberapa sifat gas

Cairan	T(°C)	ρ (kg/m ³)	μ (Ns/m)	R (J/kg.K)	k	
Udara	15	1.2300	1.79×10^{-5}	2.869×10^2	1.40	
Carbon dioksida	20	1.8300	1.47×10^{-5}	1.889×10^2	1.30	
Helium	20	0.1660	1.94×10^{-5}	2.077×10^3	1.66	
Hidrogen	20	0.0838	8.84×10^{-5}	4.124×10^3	1.41	
Methane (NG)	20	0.6670	1.10×10^{-5}	5.183×10^2	1.31	
Nitrogen	20	1.1600	1.76×10^{-5}	2.968×10^2	1.40	
Oksigen	20	1.3300	2.04×10^{-5}	2.598×10^2	1.40	

Hukum Gas Ideal

Gas lebih kompresibel dibandingkan dengan fluida, perubahan densitas gas berhubungan dengan perubahan tekanan dan temperatur mengikuti persamaan gas ideal berikut :

$$P = \rho RT$$

di mana, P adalah tekanan absolut gas, ρ adalah densitas, T adalah temperatur absolut, dan R konstanta gas.

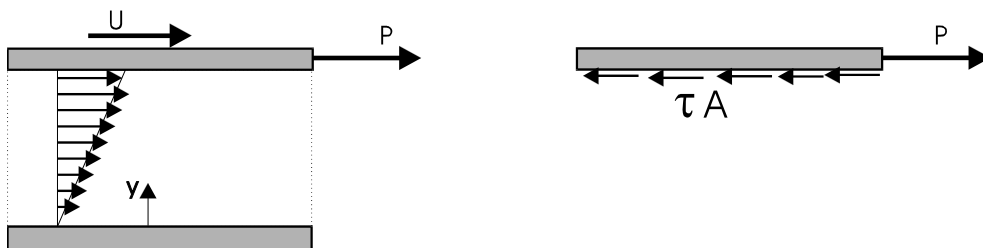
Zat	cp [kJ/kg.K]	cv [kJ/kg.K]	R [kJ/kg.K]	k [cp/cv]
Argon, Ar	0.523	0.315	0.208	1.67
Nitrogen, N ₂	1.038	0.742	0.292	1.40
Oksigen, O ₂	0.917	0.657	0.260	1.39
CO	1.042	0.745	0.297	1.40
Udara	1.004	0.718	0.286	1.40
Uap air	1.867	1.406	0.461	1.33
CO ₂	0.845	0.656	0.189	1.29
Metan, CH ₄	2.227	1.709	0.518	1.30
Propan, C ₃ H ₈	1.691	1.502	0.189	1.13

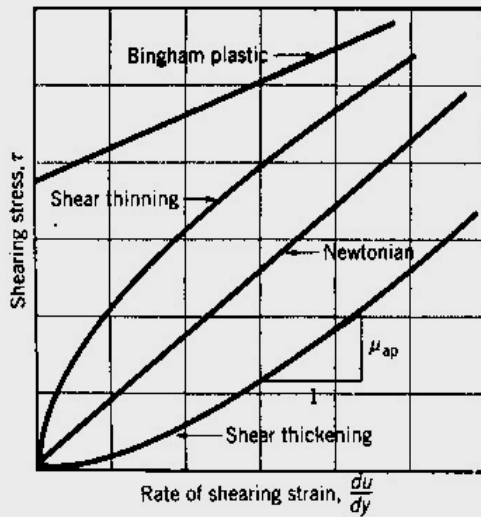
Viskositas, μ

Densitas dan berat jenis menggambarkan berat dari suatu fluida. Sifat-sifat itu tidak cukup untuk menjelaskan karakteristik suatu fluida. Air dan minyak (oil) misalnya hampir sama harga densitasnya, tapi perilaku alirannya berbeda. Oleh karena itu perlu sifat fluida yang lain yang dapat menggambarkan mampu alirnya. Sifat fluida yang menggambarkan mampu alirnya adalah viskositas, μ .

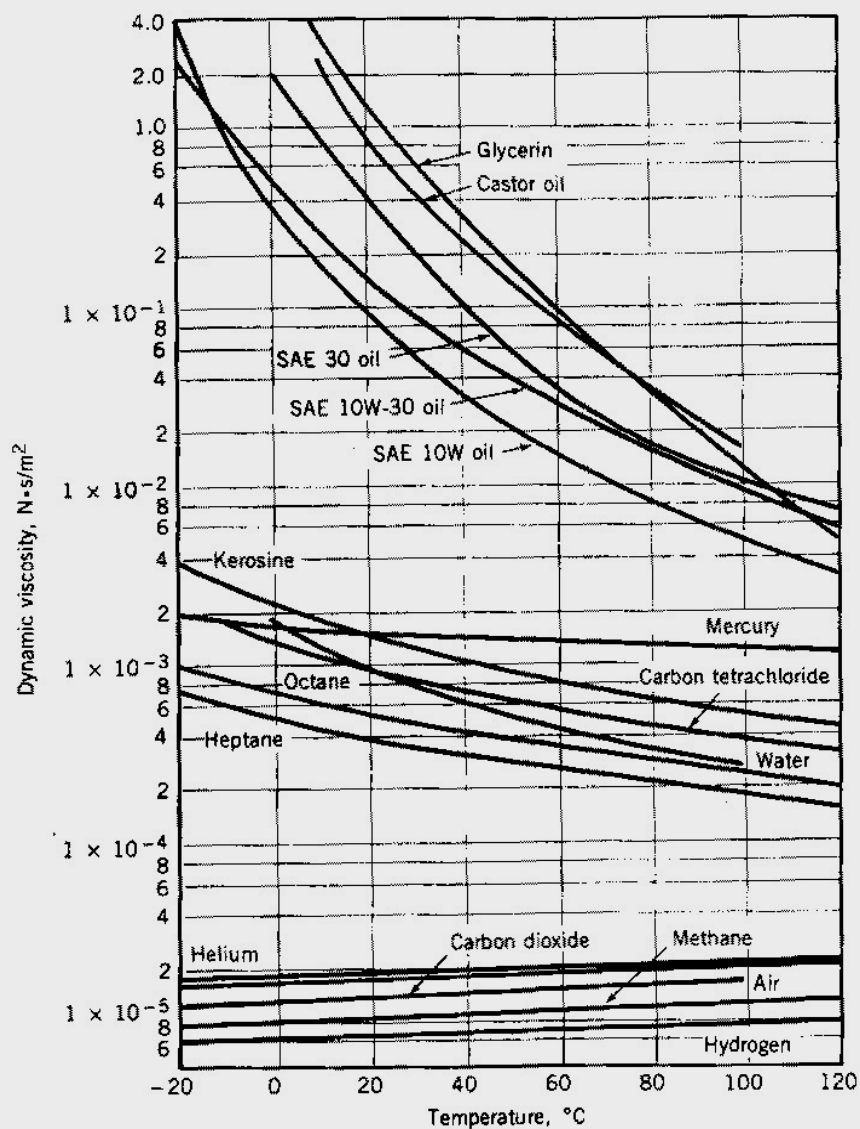
$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

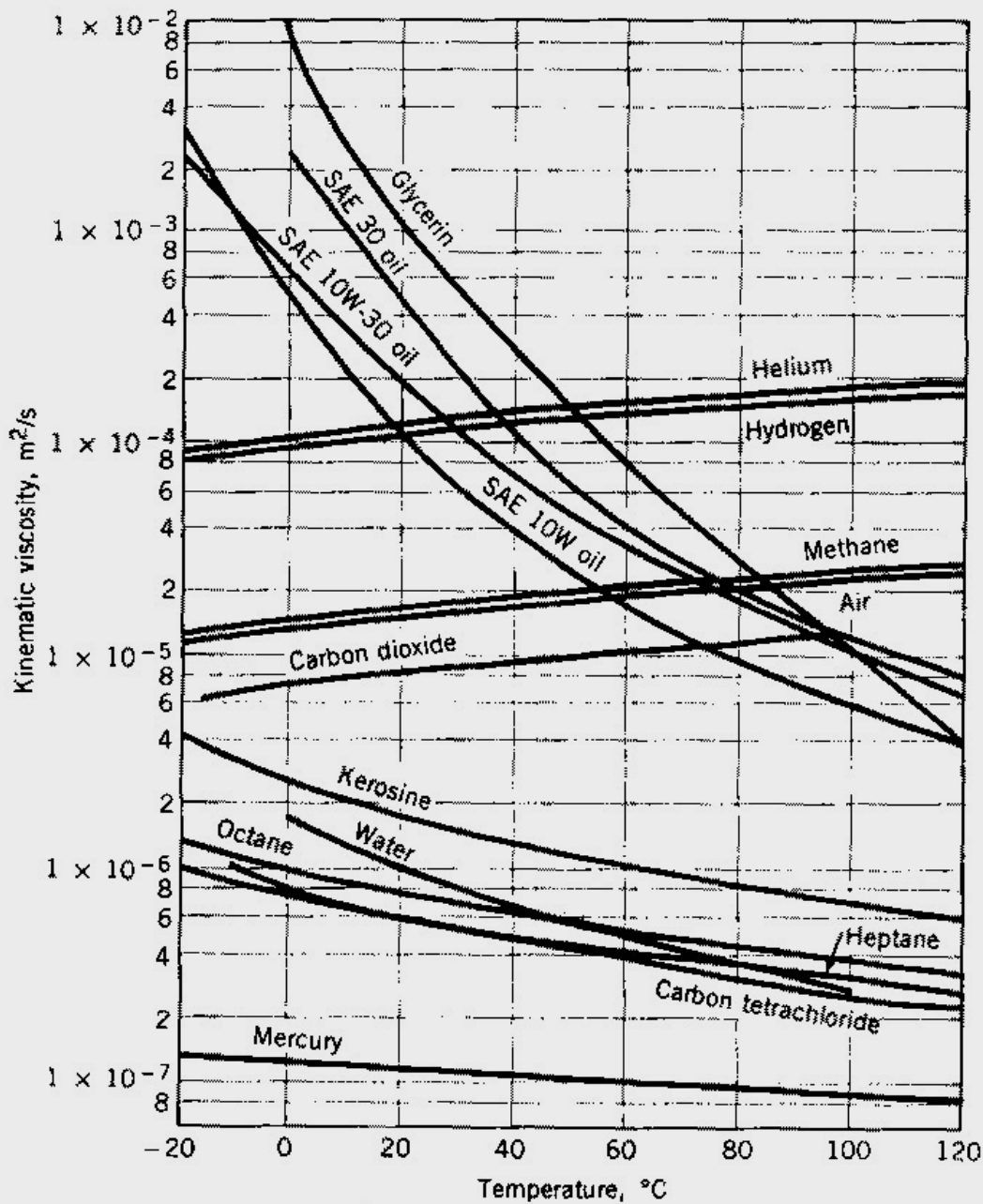




■ **FIGURE 1.5** Variation of shearing stress with rate of shearing strain for several types of fluids, including common non-Newtonian fluids.



■ **FIGURE B.1** Dynamic (absolute) viscosity of common fluids as a function of temperature. To convert to BG units of $lb \cdot s/ft^2$ multiply $N \cdot s/m^2$ by 2.089×10^{-2} . Curves from R. W. Fox, and A. T. McDonald, *Introduction to Fluid Mechanics*, Third Edition, Wiley, New York, 1985. Used by permission.



■ **FIGURE B.2** Kinematic viscosity of common fluids (at atmospheric pressure) as a function of temperature. To convert to BG units of ft²/s multiply m²/s by 10.76. Curves from R. W. Fox, and A. T. McDonald, *Introduction to Fluid Mechanics*, Third Edition, Wiley, New York, 1985. Used by permission.

Kompresibilitas fluida (Compressibility of fluid)

Bulk modulus, E_v

Kompresibilitas suatu fluida menunjukkan seberapa besar volume (=densitas, berat jenis) suatu fluida berubah apabila terjadi perubahan tekanan.

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

dimana, dp adalah perubahan volume yang diberikan untuk menghasilkan perubahan volume dV/V . Tanda negative menunjukkan perubahan kenaikan tekanan akan menyebabkan penurunan volume. Persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk, ($m=\rho V$)

$$E_v = \frac{dp}{d\rho/\rho}$$

Kecepatan suara (Speed of sound)

Jika fluida mengalir dalam suatu pipa dan katup keluaran tertutup secara tiba-tiba, penutupan katup ini tidak langsung mempengaruhi aliran. Dibutuhkan waktu untuk menaikkan tekanan yang ditimbulkan oleh penutupan dan menyebar ke sisi hulu (upstream). Sama seperti 'loud speaker', diaphragma loud speaker menyebabkan 'localized disturbances' sebagai getaran dan getaran kecil ditimbulkan oleh gerakan diaphragma disebarkan melalui udara pada kecepatan terbatas. Kecepatan di mana gangguan kecil ini menyebar disebut kecepatan suara (speed sound atau acoustic sound). Kecepatan suara berhubungan dengan perubahan tekanan dan densitas suatu medium,

$$c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

Menggunakan variabel bulk modulus,

$$c = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}}$$

untuk proses isentropik dan gas ideal,

$$c = \sqrt{kRT}$$

Air pada $T=20^\circ\text{C}$, maka kecepatan suara, $c=1481$ m/s.

Uap air, kecepatan suara, $c=423.85$ m/s.

Nitrogen, kecepatan suara, $c=348.45$ m/s.

Oksigen, maka kecepatan suara, $c=325.41$ m/s.

Udara, kecepatan suara, $c=342.52$ m/s. Metan, kecepatan suara, $c=444.19$ m/s.

Tekanan penguapan, P_v (Vapor pressure)

Cairan (air) akan menguap jika berada di atmosfer. Penguapan terjadi karena beberapa molekul cairan didekat permukaan mempunyai cukup momentum untuk melawan gaya kohesi antar molekul dan keluar ke atmosfer. Jika cairan berada dalam suatu wadah tertutup dengan sedikit udara di atas permukaan bebasnya dan divakum, maka tekanan dihasilkan dalam ruangan tersebut karena adanya uap yang terbentuk oleh terbebasnya molekul-molekul cairan. Bila kondisi seimbang tercapai, jumlah molekul yang meninggalkan dan masuk ke permukaan sama. Uap dikatakan jenuh, dan tekanan pada permukaan cairan disebut tekanan penguapan atau tekanan jenuh (vapor pressure). Besar tekanan ini bergantung pada temperatur fluida.

Tabel Tekanan Penguapan

T°C	ρ (kg/m ³)	μ (Ns/m ²)	σ (N/m)	Pv (Pa.abs)	c (m/s)
0	999.9	1.787×10^{-3}	7.56×10^{-2}	6.105×10^2	1403
5	1000.0	1.519×10^{-3}	7.49×10^{-2}	8.722×10^2	1427
10	999.7	1.307×10^{-3}	7.42×10^{-2}	1.228×10^3	1447
20	998.2	1.002×10^{-3}	7.28×10^{-2}	2.338×10^3	1481
30	995.7	7.975×10^{-4}	7.12×10^{-2}	4.243×10^3	1507
40	992.2	6.529×10^{-4}	6.96×10^{-2}	7.376×10^3	1526
50	988.1	5.468×10^{-4}	6.79×10^{-2}	1.233×10^4	1541
60	983.2	4.665×10^{-4}	6.62×10^{-2}	1.992×10^4	1552
70	977.8	4.042×10^{-4}	6.44×10^{-2}	3.116×10^4	1555
80	971.8	3.547×10^{-4}	6.26×10^{-2}	4.734×10^4	1555
90	965.3	3.147×10^{-4}	6.08×10^{-2}	7.010×10^4	1550
100	958.4	2.818×10^{-4}	5.89×10^{-2}	1.013×10^5	1543

Tarikan Permukaan (Surface tension)

Tarikan permukaan adalah intensitas gaya molekul per satuan panjang sepanjang garis permukaan. Tegangan permukaan adalah sifat cairan dan bergantung pada temperatur maupun fluida lain yang kontak dengan permukaan.

Fenomena umum yang berhubungan dengan tarikan permukaan adalah naik atau turunnya permukaan cairan dalam tabung kapiler. Jika tabung terbuka dimasukkan ke dalam air, permukaan air dalam tabung akan naik di atas permukaan air di luar tabung. Untuk kasus ini, adhesi antara dinding tabung dan molekul cairan sangat kuat sehingga dapat menarik air menaiki dinding. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa cairan membasahi permukaan solid.

Tinggi h bergantung pada besar tarikan permukaan, radius tabung, berat jenis dan sudut kontak antara fluida dan tabung. Gaya vertikal karena tarikan permukaan adalah sama dengan berat fluida.

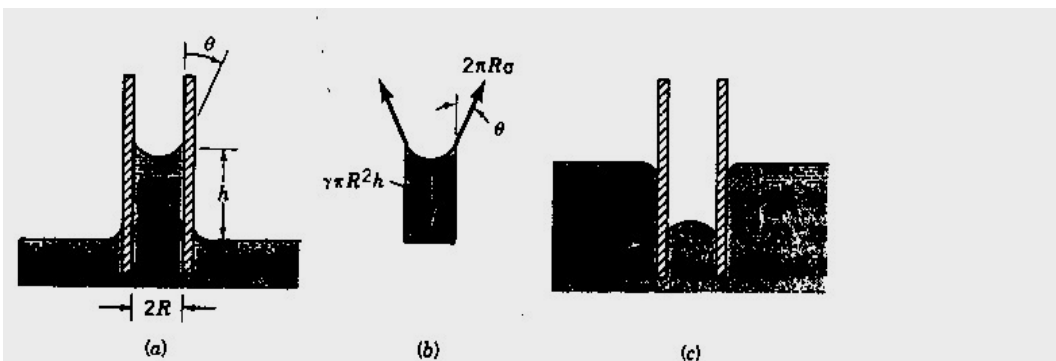


FIGURE 1.8 Effect of capillary action in small tubes. (a) Rise of column for a liquid that wets the tube. (b) Free-body diagram for calculating column height. (c) Depression of column for a nonwetting liquid.

Gaya yang ditimbulkan oleh tarikan permukaan dan gaya berat fluida harus seimbang, maka

$$\gamma\pi R^2 h = 2\pi R\sigma \cos\theta \quad (1)$$

Jadi tinggi kenaikan fluida adalah

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

Sudut kontak merupakan fungsi dari cairan dan permukaan. Untuk air yang kontak dengan gelas bersih (kaca) mempunyai sudut kontak sebesar 0° .

Contoh:

Tekanan sering ditentukan dengan cara mengukur tinggi kolom cairan dalam tabung vertikal. Berapa diameter kaca bersih yang diperlukan untuk menaikkan air pada 20°C dalam tabung kapiler sebesar 1 mm ?

Penyelesaian _____

Dari persamaan (2),

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\gamma R}$$

maka

$$R = \frac{2\sigma \cos\theta}{\gamma h}$$

untuk air pada 20°C , $\gamma = 9.789 \text{ kN/m}^3$, $\theta = 0^\circ$, $\sigma = 0.0728 \text{ N/m}$. Diperoleh, $R = 0.0149 \text{ m}$, atau diameter minimum yang diperlukan adalah 29.8 mm.

Jika adhesi molekul terhadap permukaan solid rendah dibandingkan dengan kohesi antara permukaan molekul, cairan tidak akan membasahi permukaan dan permukaan dalam tabung akan turun di bawah permukaan cairan di luar tabung. Merkuri adalah contoh dari suatu cairan yang tidak membasahi permukaan kontak. Besar sudut kontak merkuri dan gelas bersih adalah 130° .

Efek tarikan permukaan ini sangat berperan dalam masalah mekanika fluida yang melibatkan gerakan cairan melalui solid dan media porous lainnya, aliran lapisan film tipis, formasi drops dan bubbles.

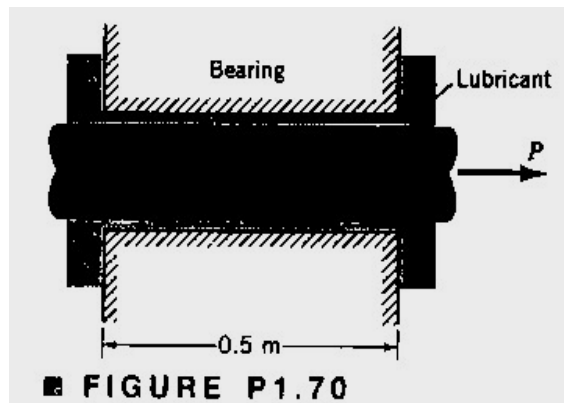
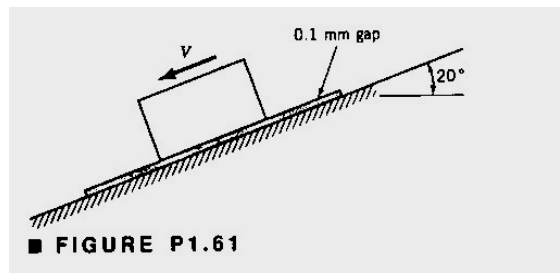
Metodologi penyelesaian masalah atau soal

1. Buat gambar secara skematik dari permasalahan yang akan diselesaikan kemudian tuliskan berbagai parameter atau besaran yang diketahui dan yang ditanyakan.
2. Tuliskan daftar beberapa asumsi atau idealisasi yang relevan untuk penyelesaian masalah.
3. Tuliskan berbagai persamaan dasar yang terlibat untuk menyelesaikan masalah.
4. Turunkan atau dapatkan persamaan yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah tadi dari berbagai persamaan dasar di atas.
5. Substitusikan berbagai besaran yang diketahui ke dalam persamaan tadi (point 4) dan selesaikan perhitungannya. Jangan lupa tuliskan satuannya.
6. Check kembali, apakah hasilnya "reasonable"

Soal-soal:

1. Nyatakan besaran-besaran berikut ini dalam sistem satuan Inggris (BG, British Gravitational)
 - a. 14.2 km
 - b. 8.14 N/m^3
 - c. 1.61 kg/m^3
 - d. 10000 m
 - e. 40 C
 - f. 0.001 kg/MJ
 - g. 600 kW
 - h. 2.5 m/s
 - i. 50 barg
 - j. 0.8 MPa
 - k. 24 CMH
2. Nyatakan besaran-besaran berikut ini dalam sistem satuan internasional (SI, System International)
 - a. 742 Btu
 - b. 79.1 hp
 - c. 60°F
 - d. 24000 ft
 - e. 20000 mmBTU per day
 - f. 20 mmscfd
 - g. 1000 cfm
 - h. 7500 BTU/h
 - i. 2200 TR
 - j. 810 Psig
 - k. 900 Psia
 - l. 5 gal
3. Berat jenis suatu cairan sebesar 70.3 lb/ft^3 . Tentukan densitas dan spesifik gravitasinya.
4. Tentukan sifat-sifat fluida (densitas, s.g, viskositas) zat berikut ini: Nitrogen, Udara, Air, Oil, HSD, fuel gas, metan, propan, cement/portland, coal, clay, limestone, ore, gypsum !
5. Densitas bahan bakar suatu mesin jet adalah sebesar 805 kg/m^3 . Tentukan spesifik gravitasi dan berat jenisnya.
6. Perkirakan jumlah kebutuhan air setiap hari untuk keperluan rumah dalam suatu kota ! Nyatakan jumlah air tersebut dalam kg dan liter.
7. Kerapatan Oksigen dalam suatu tangki sebesar 2.0 kg/m^3 pada temperatur 25°C . Tentukan tekanan gas jika tekanan atmosfernya sebesar 97 kPa.
8. Berapa tekanan ban mobil sedan dalam Psig, barg, kPa, mH_2O ?
9. Sebuah ban mempunyai volume 3 ft^3 berisi udara pada tekanan 28 Psi dan temperatur 70°F . Tentukan densitas dan berat jenisnya.
10. Suatu tangki udara bertekanan berisi 6 kg udara pada temperatur 80°F . Tekanannya terbaca 300 kPa. Tentukan volume tangki tersebut.
11. Sebuah hotel menampung tamu sebanyak 100 orang. Jika setiap orang memerlukan air sebanyak 100 liter/hari tentukan ukuran tangki air yang diperlukan.

12. Sebuah poros berdiameter 25 mm ditarik melalui suatu silinder. Pelumas yang diberikan untuk mengisi gap sebesar 0.3 mm antara poros dan silinder mempunyai viskositas $8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ dan spesifik gravitas 0.91. Tentukan besar gaya untuk menarik poros tersebut jika kecepatannya 3 m/s.
13. 10 kg balok meluncur ke bawah di atas permukaan miring. Tentukan kecepatan balok jika gap (celah) antara balok dan permukaan diisi minyak SAE 30 pada temperatur 60°F . Anggap distribusi kecepatan dalam lapisan minyak linier dan luas kontak permukaan balok sebesar 0.2 m^2 .
14. Dua buah silinder konsentris mempunyai panjang 6 in. Celah kedua silinder tersebut diisi dengan glycerin ($\mu = 8.5 \times 10^{-3} \text{ lb.s/ft}^2$). Silinder bagian dalam mempunyai radius 3 in dan lebar celah antara kedua silinder tersebut adalah 0.1 in. Tentukan torsi dan daya yang diperlukan untuk memutar silinder bagian dalam yang berputar pada 180 rpm jika silinder bagian luar dalam keadaan diam. Anggap distribusi kecepatan glycerin linier.
15. Poros berdiameter 25 mm ditarik melalui sebuah silinder bantalan seperti tampak pada gambar di samping. Pelumas mengisi celah 0.3 mm antara poros dan bantalan mempunyai viskositas kinematik sebesar $8.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ dan $s.g = 0.91$. Tentukan besar gaya P yang diperlukan untuk menarik poros pada kecepatan 3 m/s. Anggap distribusi kecepatan pelumas dalam celah linier.

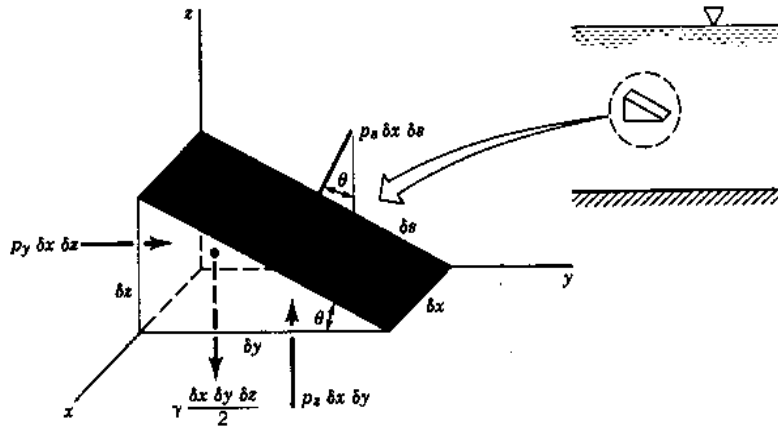


2

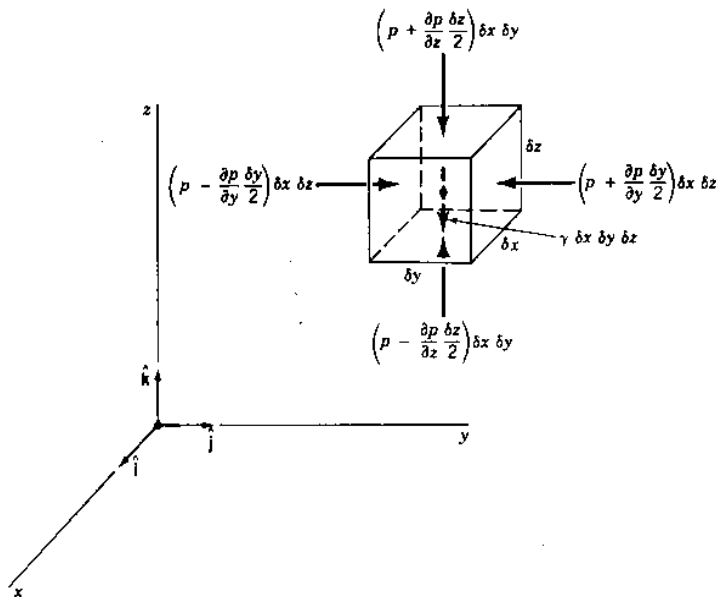
STATIKA FLUIDA

TEKANAN FLUIDA

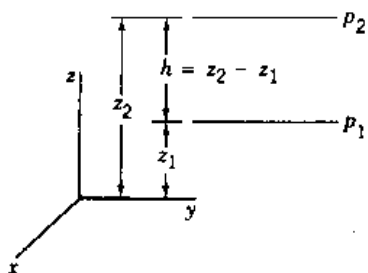
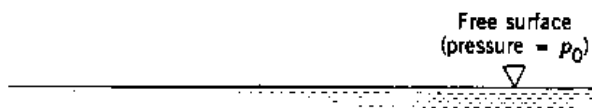
Tekanan pada suatu titik dalam fluida diam atau bergerak tidak bergantung pada arah selama tidak ada tegangan geser. Dengan kata lain tekanan pada suatu titik besarnya sama dalam segala arah.



■ FIGURE 2.1 Forces on an arbitrary wedged-shaped element of fluid.



■ FIGURE 2.2 Surface and body forces acting on small fluid element.



■ FIGURE 2.3 Notation for pressure variation in a fluid at rest with a free surface.

VARIASI TEKANAN FLUIDA

Variasi tekanan dalam fluida diam bergantung pada elevasi,

$$\frac{dp}{dz} = -\gamma \quad (1)$$

FLUIDA INKOMPRESIBLE

Fluida inkompresibel adalah fluida yang densitasnya konstan walaupun dalam pengaruh perubahan tekanan yang besar.

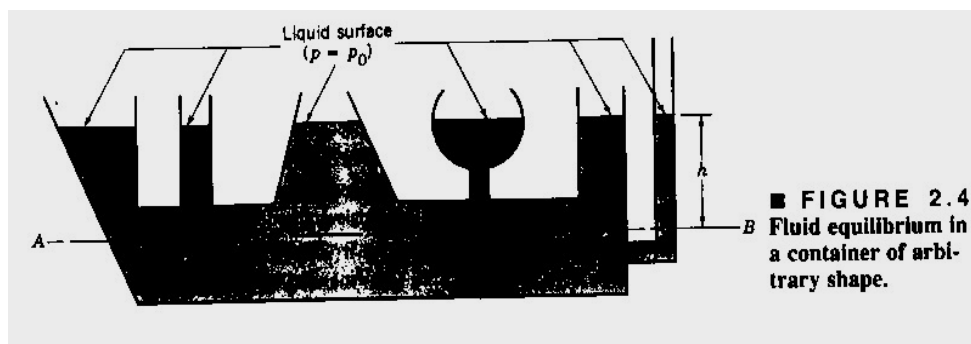
$$\begin{aligned} dp &= -\gamma dz \\ \int_{p_1}^{p_2} dp &= -\gamma \int_{z_1}^{z_2} dz \\ p_2 - p_1 &= \gamma (z_1 - z_2) \\ p_1 &= p_2 + \gamma z \end{aligned} \quad (2)$$

Tekanan sering dinyatakan dalam ketinggian (head),

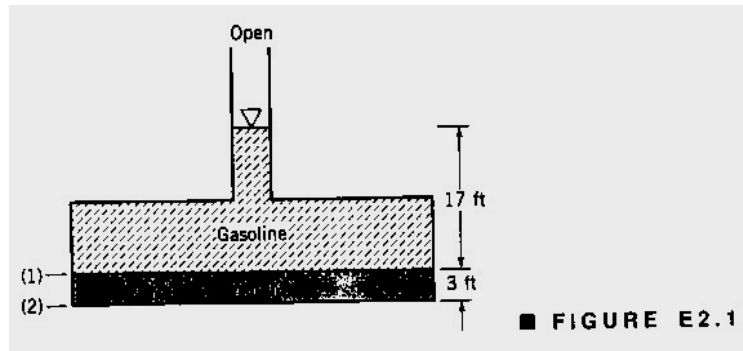
$$h = \frac{P}{\gamma} \quad (3)$$

Head adalah tinggi kolom fluida dengan berat jenis γ untuk memperikan tekanan sebesar P .
Contoh: tekanan 1 atm dapat dinyatakan dengan head tekanan sebesar 10 mH₂O.

Persamaan-persamaan di atas menunjukkan bahwa tekanan dalam fluida homogen atau fluida inkompresible yang diam bergantung pada kedalaman dan tidak dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk tangki atau wadah yang ditempati fluida.



Jadi tekanan sepanjang garis AB besarnya sama karena besar tekanan dalam fluida hanya bergantung pada kedalaman dan tidak bergantung pada bentuk atau ukuran wadah atau tangki yang ditempatinya. Besar tekanan sepanjang garis AB hanya bergantung pada kedalaman h , tekanan permukaan, p_0 dan berat jenis cairan, γ yang berada dalam wadah.



Contoh:

Perhatikan gambar di atas. Jika SG gasoline = 0.68, tentukan tekanan di antara permukaan gasoline dan air, dan besar tekanan di dasar tangki. Nyatakan besar tekanan tersebut dalam lb/ft², lb/in², Pa, atm, bar, ftH₂O, dan mH₂O.

Penyelesaian

Variasi tekanan dalam fluida diam dinyatakan dengan hubungan,

$$p = \gamma h + p_o$$

Untuk besar tekanan di antara permukaan gasoline dan air, maka p_o = tekanan atmosfer. Jadi tekanan di antara permukaan gasoline dan air, p_1 adalah

$$p_1 = \gamma h + p_o$$

$$p_1 = SG \gamma_{H_2O} h + P_o$$

$$p_1 = (0.68)(62.4 \text{ lb} / \text{ft}^3)(17 \text{ ft}) + p_o$$

$$p_1 = 721 (\text{lb} / \text{ft}^2) + p_o$$

Jika tekanan akan dinyatakan relative terhadap tekanan atmosfer, maka $p_o = 0$, jadi

$$p_1 = 721 \text{ lb} / \text{ft}^2$$

$$p_1 = 721 / 144 = 5.01 \text{ lb} / \text{in}^2$$

$$h_1 = \frac{P_1}{\gamma_{H_2O}} = \frac{721 \text{ lb} / \text{ft}^2}{62.4 \text{ lb} / \text{ft}^3} = 11.6 \text{ ft}$$

Besar tekanan pada dasar tangki, p_2 adalah

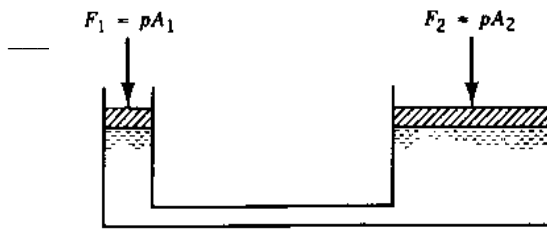
$$p_2 = \gamma_{H_2O} h + p_1$$

$$p_2 = (62.4 \text{ lb} / \text{ft}^3)(3 \text{ ft}) + 721 \text{ lb} / \text{ft}^2$$

$$p_2 = 908 \text{ lb} / \text{ft}^2$$

$$p_2 = 908 / 144 = 6.31 \text{ lb} / \text{in}^2$$

$$h_2 = \frac{908 \text{ lb} / \text{ft}^2}{62.4 \text{ lb} / \text{ft}^3} = 14.6 \text{ ft}$$



■ FIGURE 2.5 Transmission of fluid pressure.

Kesamaan tekanan pada elevasi yang sama dalam suatu sistem sangat penting dalam operasi dongkrak hidraulik, lift, mesin press maupun kontrol hidraulik pada pesawat terbang dan mesin-mesin berat lainnya. Prinsip kerja peralatan tersebut diperlihatkan pada gambar di atas.

Sebuah Piston diletakan diujung sistem tertutup yang berisi cairan seperti minyak yang dapat digunakan untuk mengubah tekanan dalam sistem. Dengan memberikan gaya F_1 maka akan dihasilkan gaya F_2 . Karena tekanan yang bekerja pada ke dua sisi piston sama, maka besar F_2 adalah $(A_2/A_1)F_1$. Luas piston A_2 dapat dibuat lebih besar daripada A_1 , untuk menghasilkan gaya yang lebih besar dengan memberikan gaya yang lebih kecil pada piston lebih kecil. Gaya yang diberikan pada pistol kecil dapat dibangkitkan secara manual atau melalui beberapa peralatan mekanik lainnya seperti dongkrak hidraulik, kompresor, pompa, dsb.

FLUIDA KOMPRESIBLE

Fluida kompresibel adalah fluida yang densitasnya bervariasi bergantung pada tekanan dan temperatur.

Untuk gas ideal,

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{p}{RT} g$$

Variasi tekanan dalam fluida kompresibel,

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{p}{RT} g \quad (5)$$

$$\frac{dp}{p} = -\frac{g}{RT} dz$$

$$\int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = -\frac{g}{RT} \int_{z_1}^{z_2} dz \quad (6)$$

$$p_2 = p_1 \exp \left[-\frac{(z_2 - z_1)}{RT_o} g \right]$$

Contoh:

Pesawat terbang boing 737-400 terbang pada ketinggian 32000 ft. Perkirakan besar tekanan udara pada ketinggian tersebut.

Penyelesaian

Dianggap bahwa kondisi isothermal dan udara diperlakukan sebagai fluida inkompresible, maka besar tekanan pada ketinggian 32000 ft dapat diperkirakan menggunakan persamaan berikut:

$$p_2 = p_1 \exp\left[-\frac{q h}{RT_o}\right]$$

$p_2 = \dots\dots\dots$

$p_2 = \dots\dots\dots$

Jika dianggap sebagai fluida kompresible,

$$p_1 = p_2 + \gamma h$$

$$p_2 = p_1 - \gamma h$$

$p_2 = \dots\dots\dots$

$p_2 = \dots\dots\dots$

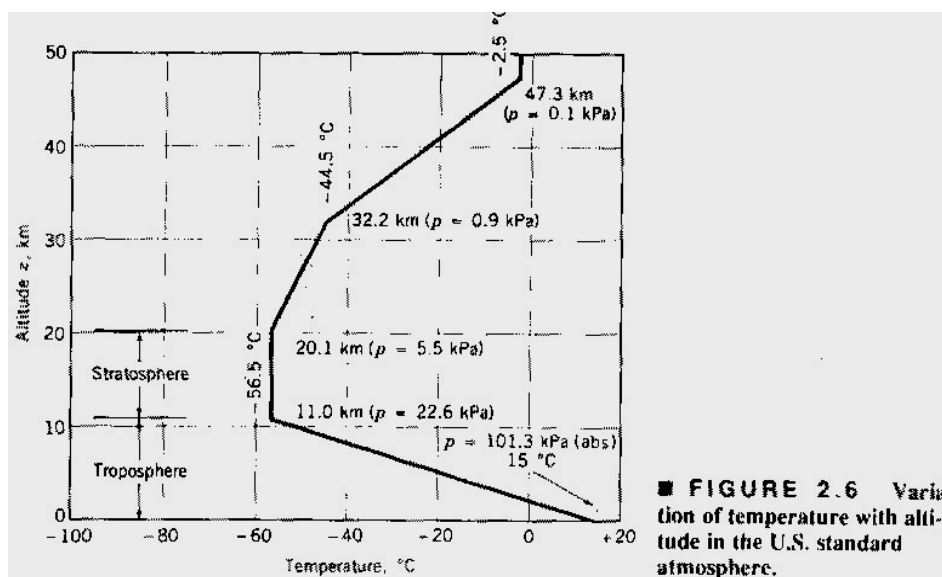
ATMOSFIR STANDAR

Variasi tekanan atmosfer bergantung pada ketinggian dan temperatur. Atmosfer standar menurut U.S Standar dapat dilihat pada tabel berikut.

$$p = p_a \left(1 - \frac{\beta z}{T_a}\right)^{g/R\beta} \tag{7}$$

$$T = T_a - \beta z$$

di mana, β =laju perubahan temperatur terhadap ketinggian (lapse rate, =0.00650 K/m atau 0.00357 R/ft), T_a =temperatur pada permukaan laut.



Sifat-sifat atmosfer pada 'sea level'

Sifat-sifat	Harga
Temperatur, T	288.15 K (15°C)
Tekanan, p	101.33 kPa (abs)
Densitas, ρ	1.225 kg/m ³
Berat jenis, γ	12.014 N/m ³
Viskositas, μ	1.789x10 ⁻⁵ Ns/m ²

PENGUKURAN TEKANAN

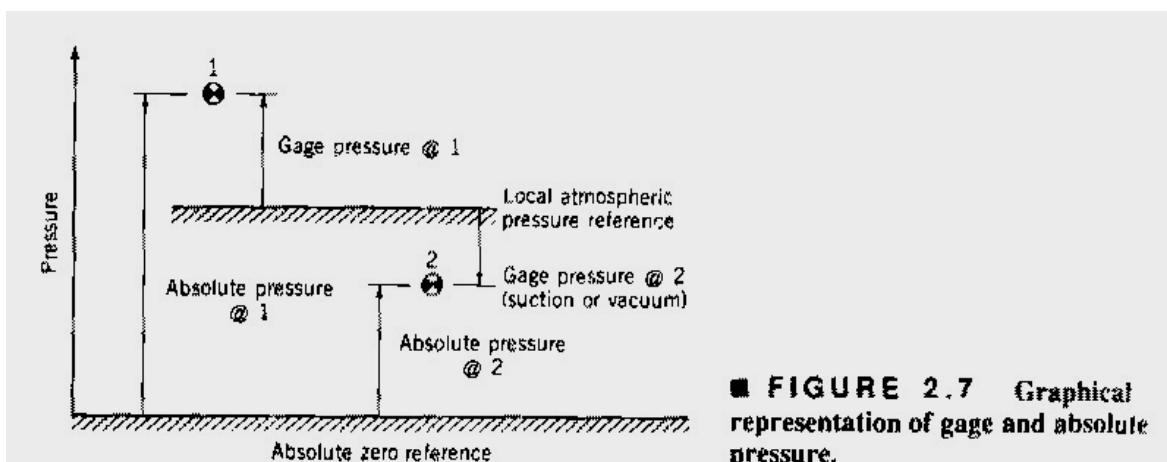
Beberapa istilah/definisi tekanan :

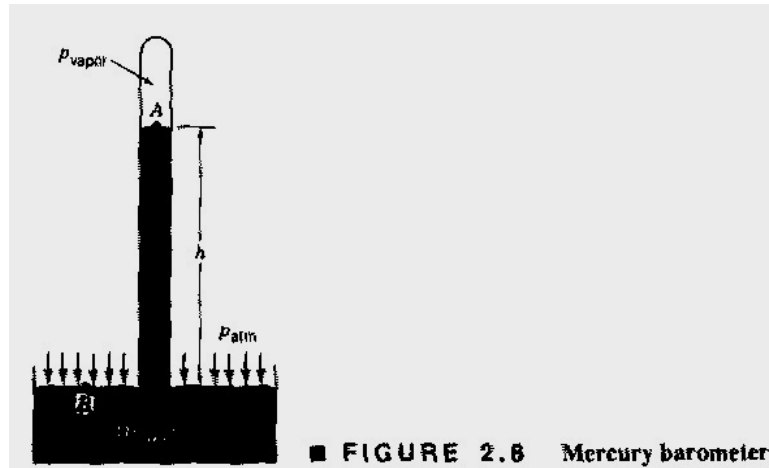
- Tekanan absolut
- Tekanan gage/pengukuran/alat ukur
- Tekanan vakum
- Tekanan positif/discharge
- Tekanan negatif/suction

Tekanan absolut adalah tekanan relatif terhadap tekanan vakum (tekanan nol absolut), sedangkan tekanan gage adalah tekanan relatif terhadap tekanan atmosfer lokal. Jadi tekanan gage sama dengan nol menunjukkan tekanan atmosfer lokal. Tekanan absolut selalu positif sedangkan tekanan gage besarnya dapat positif atau negatif tergantung pada apakah lebih besar atau lebih kecil daripada tekanan atmosfer lokal. Jika tekanan gage lebih besar daripada tekanan atmosfer lokal maka harga tekanan gage akan positif dan sebaliknya jika tekanan gage lebih kecil daripada tekanan atmosfer lokal maka besar tekanan gage akan negatif.

Contoh: 10 Psia juga dapat dinyatakan dengan -4.7 Psig atau 4.7 Psi suction atau 4.7 Psi vakum. Konsep tekanan gage dan absolut diperlihatkan secara grafik pada gambar di atas.

Tekanan dapat dinyatakan dalam satuan: atm, Psi, Pa, mH₂O, bar, kg/cm². 1 atm = 14.7 Psi = 101.3 kPa = 1 bar = 1 kg/cm² = 10 mH₂O.



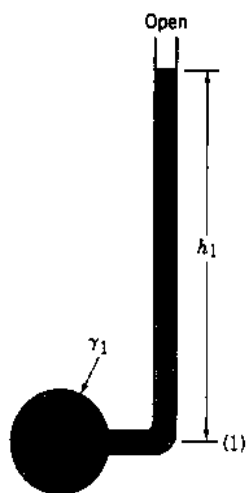


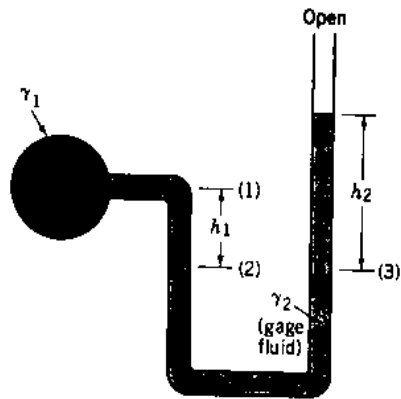
Pengukuran tekanan atmosfer biasanya dilakukan dengan barometer merkuri. Barometer merkuri terdiri atas tabung glass tertutup yang salah satu ujung yang terbukanya dibenamkan dalam kontainer merkuri. Tabung pada awalnya diisi dengan merkuri melalui salah satu ujung yang terbuka dan kemudian diputar ke atas sehingga ujung yang terbukanya berada dalam kontainer merkuri. Tinggi kolom merkuri akan menunjukkan kondisi seimbang antara gaya berat dan gaya yang ditimbulkan oleh beda tekanan antara atmosfer dan tekanan vakum.

$$P_{atm} = \gamma h + P_{vakum}$$

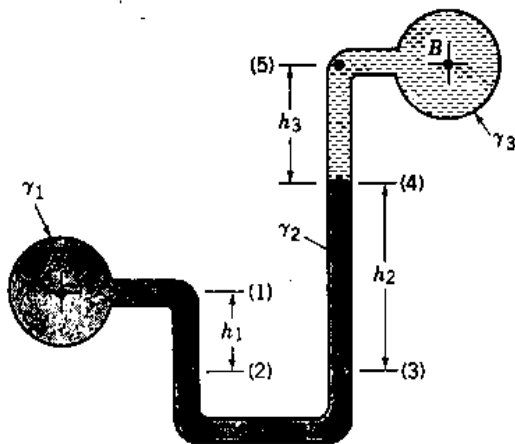
MANOMETER

Manometer adalah alat ukur tekanan yang menggunakan standar teknik pengukurannya menggunakan tinggi kolom vertikal atau miring. Barometer merkuri adalah salah satu contoh manometer yang digunakan untuk mengukur tekanan udara. Ada tiga macam manometer, yaitu tabung piezometer, tabung-U manometer, dan manometer miring (inclined-tube manometer).

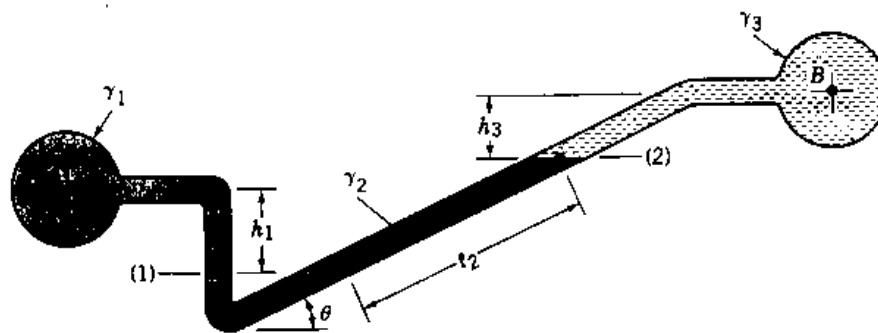




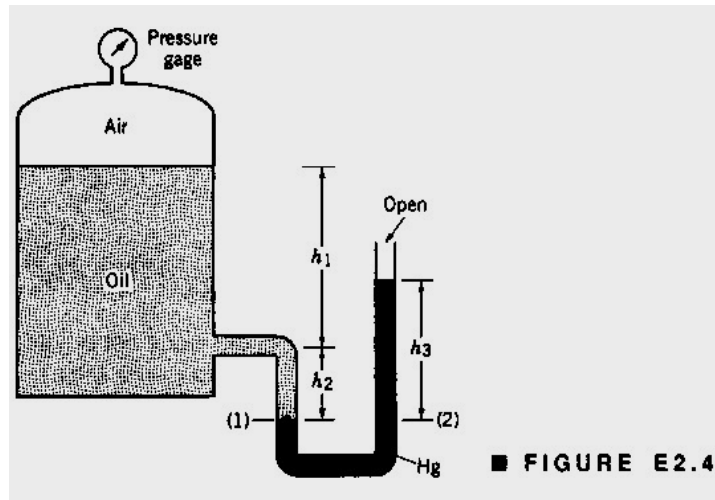
■ FIGURE 2.10 Simple U-tube manometer.



■ FIGURE 2.11 Differential U-tube manometer.



■ FIGURE 2.12 Inclined-tube manometer.



Perhatikan gambar di atas. Tangki tertutup berisi udara bertekanan dan oil dengan $SG = 0.90$. Manometer tabung U menggunakan merkuri dihubungkan dengan tangki, di mana $h_1 = 36$ in, $h_2 = 6$ in dan $h_3 = 9$ in. Berapa besar tekanan yang terbaca pada alat ukur tekanan (pressure gage) dan nyatakan satuan tekanannya dalam bar, atm, kg/cm^2 , mH₂O, dan psi.

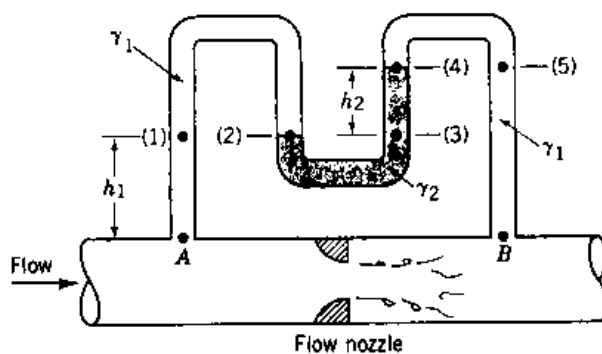
Penyelesaian:

Perhatikan gambar di bawah. Laju aliran volume (debit) melalui pipa dapat ditentukan menggunakan nosel yang diletakkan dalam pipa seperti terlihat pada gambar. Penurunan tekanan yang terjadi, $P_A - P_B$, sepanjang pipa berhubungan dengan aliran seperti dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Q = K\sqrt{P_A - P_B}$$

dimana K = konstanta yang besarnya bergantung pada pipa dan ukuran nosel. Penurunan tekanan sering diukur menggunakan manometer differensial tabung U.

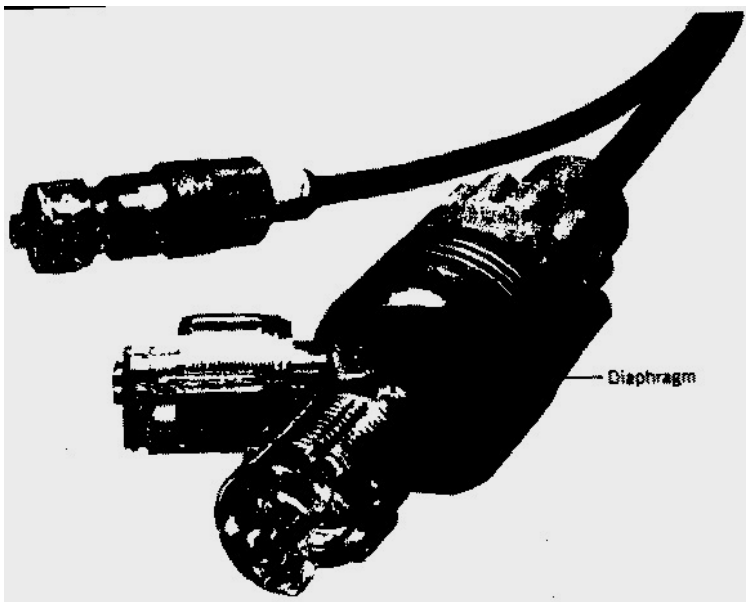
- Tentukan besar penurunan tekanan, $P_A - P_B$.
- Jika fluida yang mengalir adalah air, dan cairan dalam manometer adalah merkuri berapa besar penurunan tekanan yang terjadi ? ($h_1 = 1.0$ m dan $h_2 = 0.5$ m)



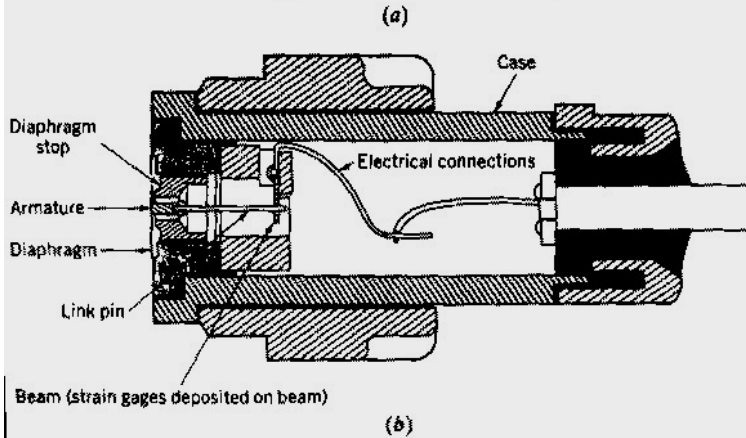
■ FIGURE E2.5

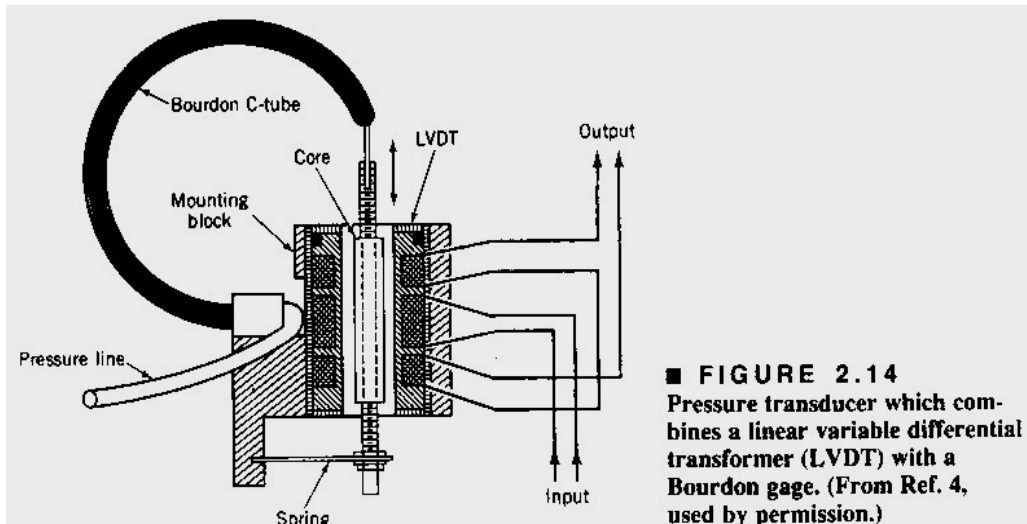


■ **FIGURE 2.13** (a) Liquid-filled Bourdon pressure gages for various pressure ranges. (b) Internal elements of Bourdon gages. The “C-shaped” Bourdon tube is shown on the left, and the “coiled spring” Bourdon tube for high pressures of 1000 psi and above is shown on the right. (Photographs courtesy of Weiss Instruments, Inc.)



■ **FIGURE 2.15** (a) Two different sized strain-gage pressure transducers (Spectramed Models P10EZ and P23XL) commonly used to measure physiological pressures. Plastic domes are filled with fluid and connected to blood vessels through a needle or catheter. (Photograph courtesy of Spectramed, Inc.) (b) Schematic diagram of the P23XL transducer with the dome removed. Deflection of the diaphragm due to pressure is measured with a silicon beam on which strain gages and an associated bridge circuit have been deposited.





GAYA HIDROSTATIK PADA PERMUKAAN

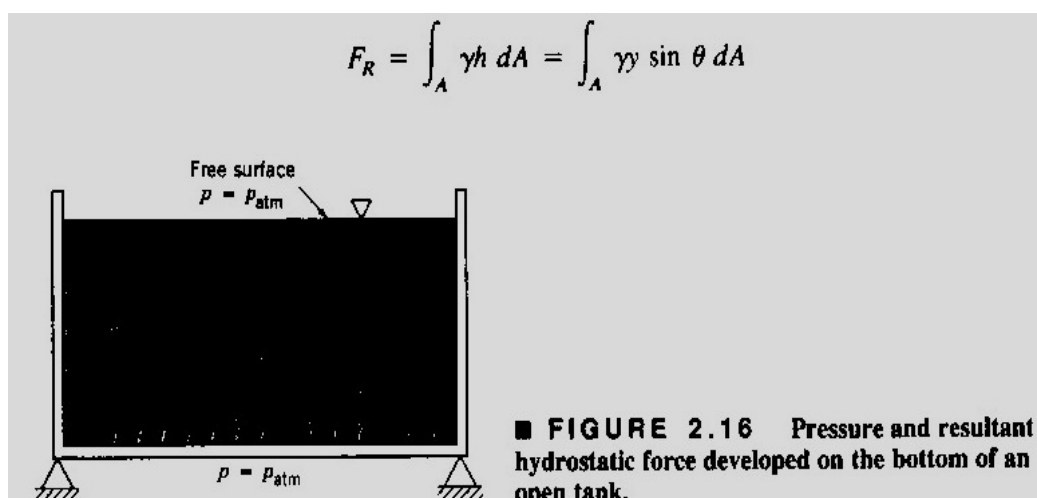
Suatu permukaan yang terendam dalam fluida akan dikenai gaya oleh fluida. Penentuan gaya-gaya ini sangat penting dalam merancang tangki, kapal, waduk dan struktur hidraulik lainnya. Untuk fluida diam, gaya-gaya yang ditimbulkan tegak lurus permukaan dan besar tekanannya berubah secara linier dengan kedalaman untuk fluida inkompresibel. Pada permukaan horizontal, seperti pada dasar tangki besar gaya resultan yang terjadi sebesar

$$F_R = pA \quad (8)$$

dimana p adalah tekanan pada permukaan dasar dan A adalah luas permukaan dasar tangki. Jika permukaan tangki terbuka atau berhubungan dengan permukaan atmosfer, maka $p = \gamma h$.

Untuk kasus umum di mana bidang permukaan yang terendam adalah miring dengan sudut θ terhadap permukaan air, maka besar resultan gaya adalah

$$F_R = \int_A \gamma h dA = \int_A \gamma y \sin \theta dA \quad (9)$$



untuk θ dan γ konstan,

$$F_R = \gamma \sin \theta \int_A h dA$$

dimana

$$\int_A h dA = h_c A$$

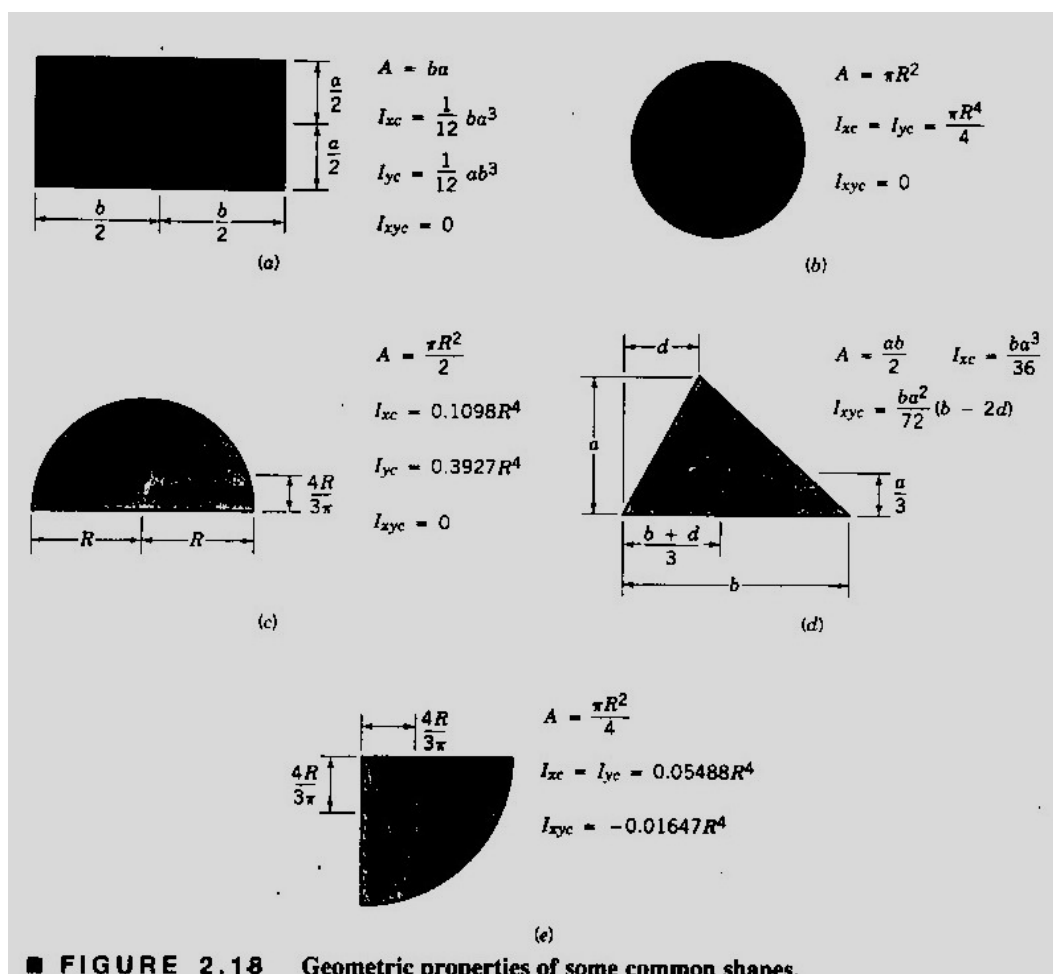
h_c adalah koordinat pusat penampang dari titik 0 di permukaan fluida.

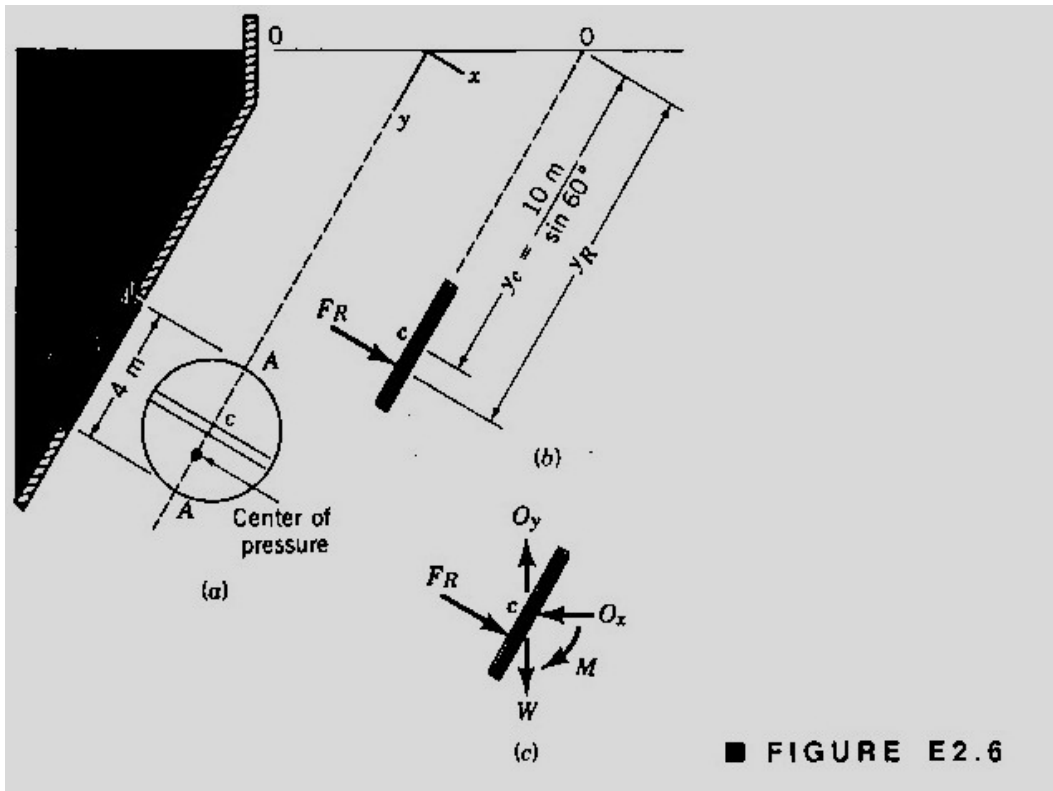
Jadi besar resultan gaya hidrostatik,

$$F_R = \gamma h_c A \quad (10)$$

Lokasi pusat tekanan (gaya hidrostatik),

$$h_p = h_c + \frac{I_{cc}}{h_c A} \quad (11)$$



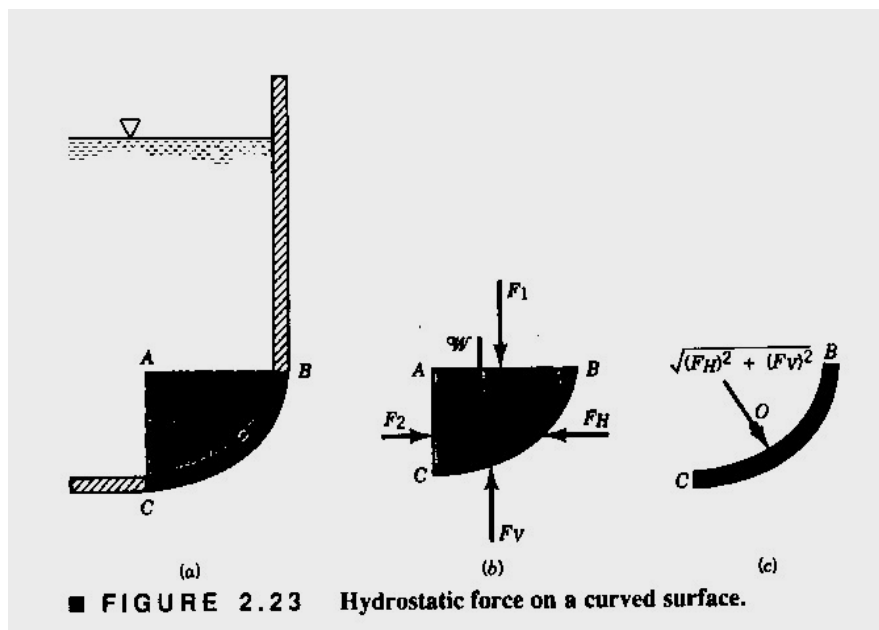


Pintu air bundar (gate) berdiameter 4 m diletakkan pada dinding miring dari suatu reservoir yang besar yang berisi air (lihat gambar di atas). Gate dipasang pada poros sepanjang diameter horizontal. Jika kedalaman air 10 m, tentukan

- a. Besar dan lokasi resultan gaya yang bekerja pada gate yang diberikan oleh air.
- b. Moment yang diberikan untuk membuka gate.

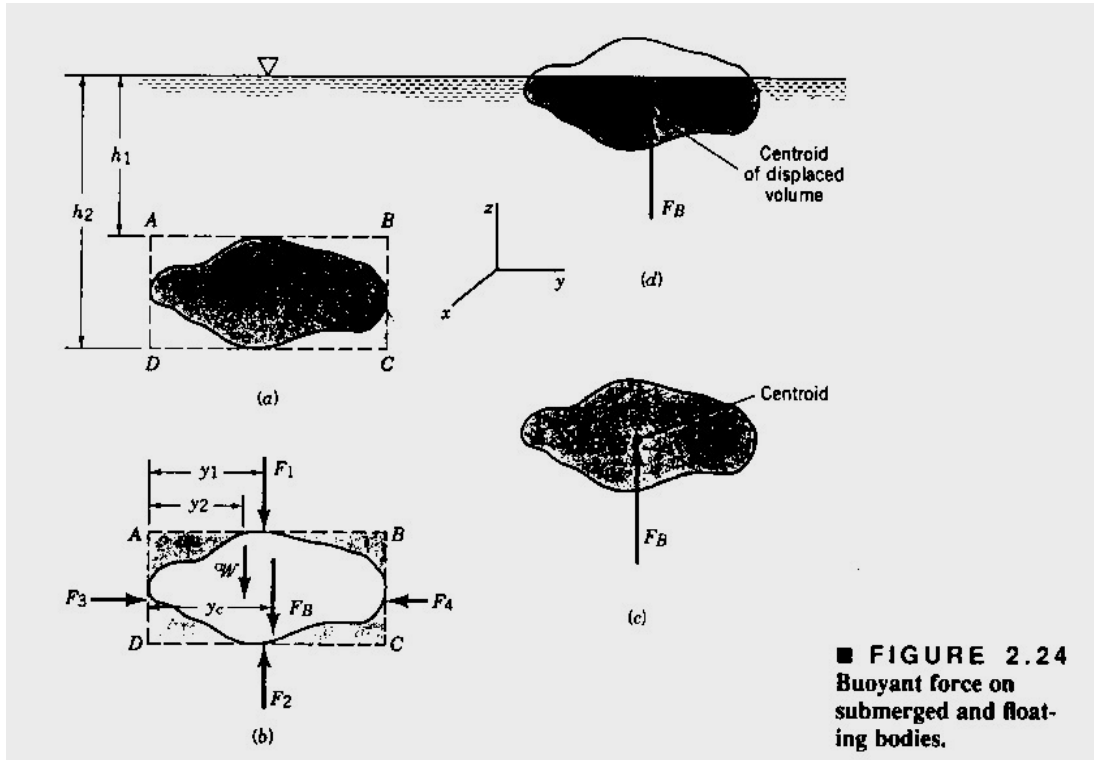
GAYA HIDROSTATIK PADA PERMUKAAN LINGKUNG

Gaya-gaya yang bekerja pada permukaan lengkung dapat ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya tersebut pada bidang proyeksi horisontal dan vertikal.



GAYA ANGGAT, MENGAPUNG DAN STABILITAS

Bila suatu benda terendam seluruhnya dalam fluida, atau terapung sehingga hanya sebagian terendam, maka fluida akan memberikan gaya pada benda tersebut. Gaya itu disebut gaya angkat (buoyant force). Gaya ini ditimbulkan oleh adanya kenaikan tekanan yang bergantung pada kedalaman dan gaya tekan yang bekerja dari bawah lebih besar dari pada gaya tekan yang bekerja dari atas.



■ FIGURE 2.24
Buoyant force on
submerged and float-
ing bodies.

Perhatikan gambar di atas. Gaya-gaya pada permukaan vertikal seperti F_3 dan F_4 adalah sama sehingga gaya-gaya dalam arah horizontal dalam kondisi seimbang. Gaya-gaya dalam arah vertikal adalah

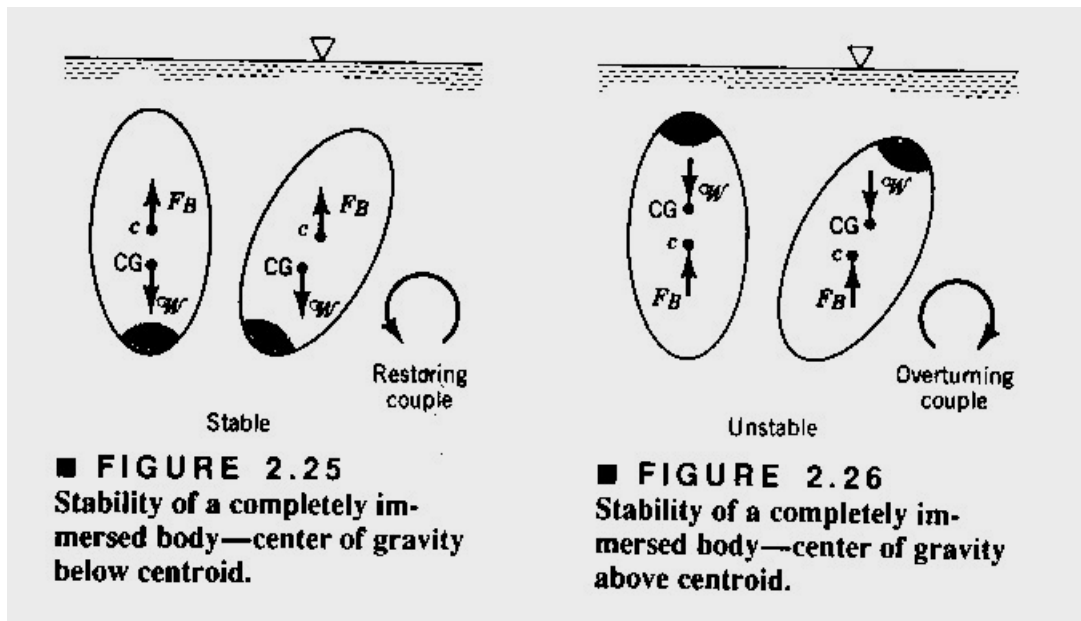
$$F_B = F_2 - F_1 - W \quad (12)$$

$$F_B = \gamma V \quad (13)$$

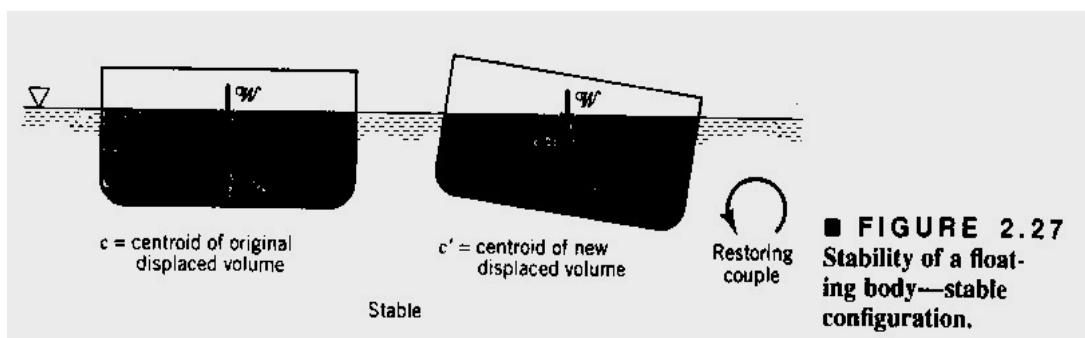
Jadi, besar gaya angkat adalah bergantung pada jenis fluida dan volume benda. Garis gaya angkat melalui pusat volume yang dipindahkan.

Masalah lain yang menarik dan penting yang berkaitan dengan benda tenggelam atau terapung adalah stabilitas benda. Suatu benda dikatakan dalam posisi keseimbangan stabil jika mendapat gangguan benda itu kembali ke posisi keseimbangannya. Sebaliknya, suatu benda dikatakan dalam posisi keseimbangan tidak stabil jika mengalami gangguan maka benda tersebut akan bergerak ke posisi keseimbangan yang baru. Pertimbangan keseimbangan sangat penting untuk benda yang tenggelam, melayang atau terapung karena pusat gaya angkat dan gaya gravitasi tidak selalu sama.

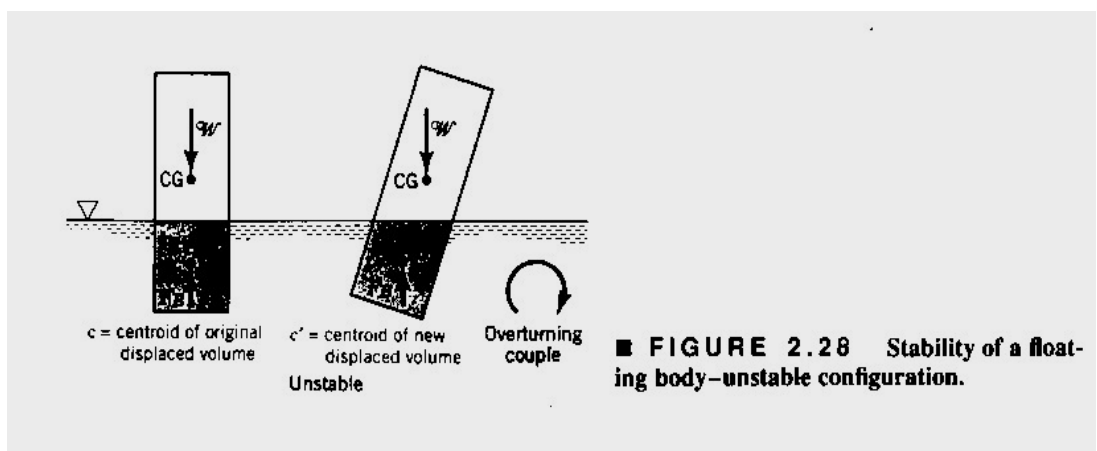
Benda yang tenggelam dalam kondisi stabil jika titik pusat gravitasinya berada di bawah titik pusat gaya angkat. Rotasi dari posisi keseimbangan akan menimbulkan kopel yang disebabkan oleh gaya gravitasi dan gaya angkat yang akan menyebabkan benda berputar kembali ke posisi awal. Konfigurasi seperti ini adalah benda dalam kondisi stabil.



Jika pusat gravitasi di atas pusat gaya angkat, maka akan menghasilkan kopel yang ditimbulkan oleh gaya gravitasi dan gaya angkat yang menyebabkan benda bergerak ke posisi keseimbangan yang baru. Dengan demikian, benda dalam suatu fluida yang lokasi pusat gravitasi di atas pusat gaya angkat adalah dalam posisi keseimbangan tidak stabil.



Benda terapung mempunyai masalah keseimbangan yang kompleks, karena jika benda berputar maka lokasi pusat gaya angkat akan berubah.



VARIASI TEKANAN FLUIDA YANG WADAHNYA BERGERAK

Persamaan dasar medan tekanan dalam fluida,

$$-\left(\frac{\partial p}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial p}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial p}{\partial z} \hat{k}\right) - \gamma \hat{k} = \rho \bar{a} \quad (14)$$

Untuk fluida diam, maka besar vektor percepatan $\bar{a} = 0$.

$$-\left(\frac{\partial p}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial p}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial p}{\partial z} \hat{k}\right) - \gamma \hat{k} = 0$$

dalam bentuk komponen,

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= -\gamma \end{aligned} \quad (15)$$

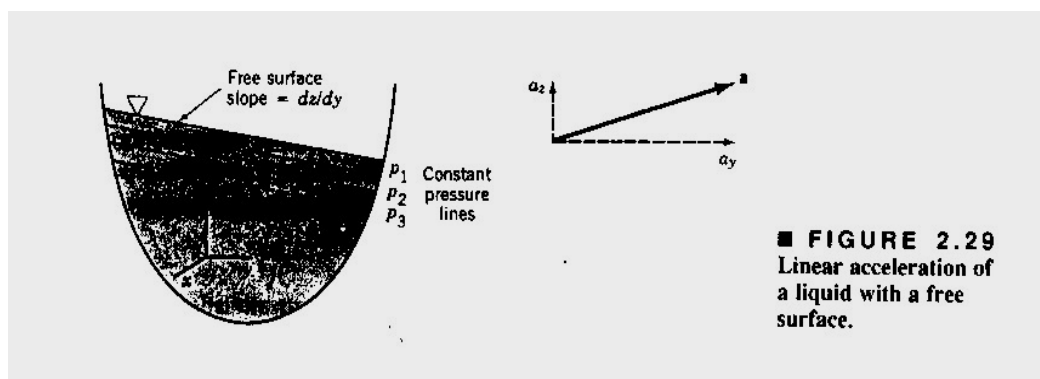
untuk fluida yang wadahnya bergerak, maka besar vektor percepatan $\bar{a} \neq 0$. Dalam bentuk komponen, variasi tekanan dalam fluida yang wadahnya mengalami percepatan adalah

$$\begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} &= \rho a_x \\ -\frac{\partial p}{\partial y} &= \rho a_y \\ -\frac{\partial p}{\partial z} &= \gamma + \rho a_z \end{aligned} \quad (16)$$

GERAKAN LINIER

Bayangkan suatu kontainer terbuka berisi cairan dan bergerak pada percepatan konstan seperti terlihat pada gambar di bawah ini. Karena $a_x = 0$, maka gradien tekanan dalam arah sumbu x adalah nol, sedangkan dalam arah sumbu y dan z adalah

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial y} &= -\rho a_y \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= -\rho(g + a_z) \end{aligned} \quad (17)$$



Jadi tekanan dalam fluida yang wadahnya mengalami percepatan bergantung pada sumbu y dan sumbu z, $p=p(x,y)$. Perubahan tekanan antara dua titik (y,z) dan $(y+dy,z+dz)$ dapat dinyatakan dengan hubungan berikut

$$dp = \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz$$

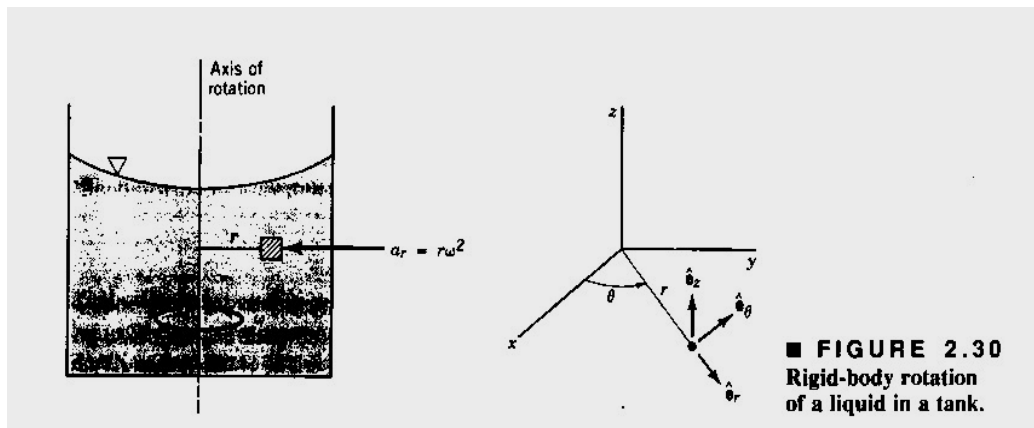
Dari persamaan (17),

$$dp = (-\rho a_y)dy - \rho(g + a_z)dz \quad (18)$$

Untuk sepanjang garis tekanan konstan, $dp = 0$ (sepanjang permukaan bebas tekanan adalah konstan), sehingga dari persamaan (18) dapat diperoleh hubungan,

$$\frac{dz}{dy} = -\frac{a_y}{g + a_z} \quad (19)$$

ROTASI



■ FIGURE 2.30
Rigid-body rotation
of a liquid in a tank.

Perubahan tekanan fluida yang wadahnya berputar pada kecepatan sudut konstan merupakan fungsi dari jari-jari, r dan z untuk fluida tertentu. $p=p(r,z)$.

Perubahan tekanan untuk dua titik (r,z) dan $(r+dr, z+dz)$ adalah

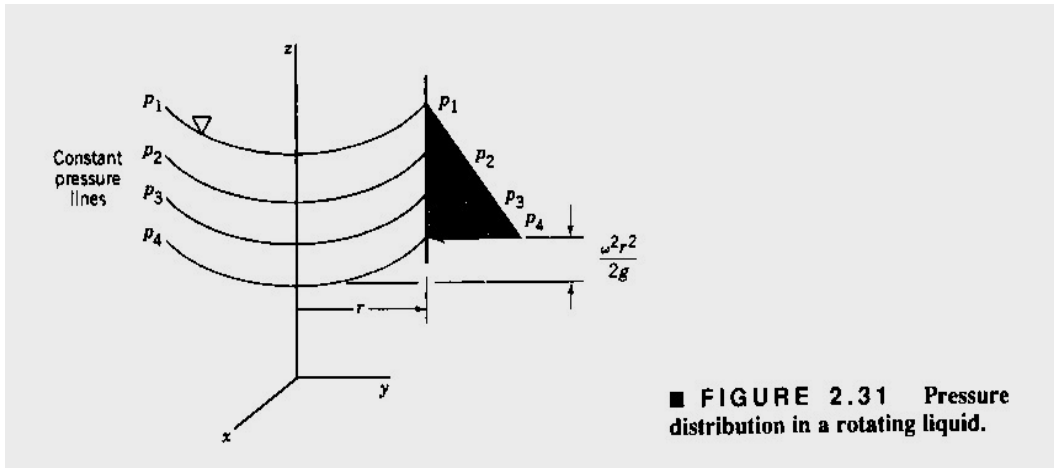
$$dp = \frac{\partial p}{\partial r} dr + \frac{\partial p}{\partial z} dz \quad (20)$$

dimana

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial r} &= \rho r \omega^2 \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= -\gamma \end{aligned} \quad (21)$$

Jadi,

$$dp = \rho r \omega^2 dr - \gamma dz \quad (22)$$



Sepanjang garis tekanan konstan, $dp = 0$, maka

$$\rho \omega^2 dr - \gamma dz = 0$$

$$\frac{dr}{dz} = \frac{r \omega^2}{g}$$

Persamaan untuk permukaan tekanan konstan adalah

$$dz = \frac{\omega^2 r^2}{2g} \quad (23)$$

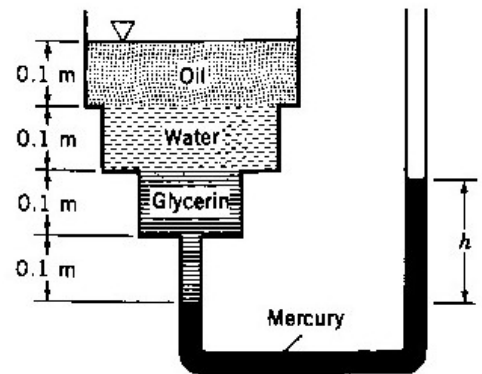
Integrasi persamaan (22) memberikan

$$\int dp = \rho \omega^2 \int r dr - \gamma \int dz$$

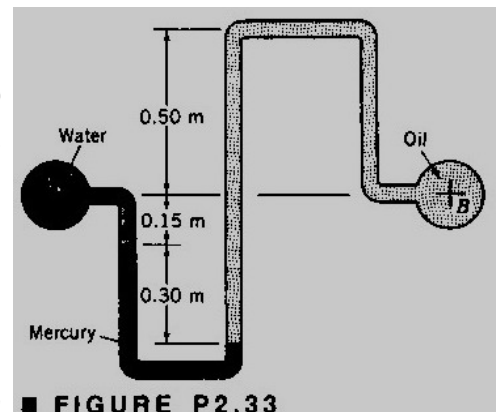
$$p = \frac{\rho \omega^2 r^2}{2} - \gamma z + C \quad (24)$$

Soal-soal:

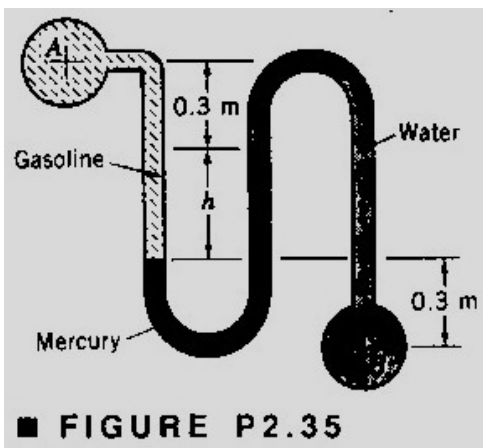
2. Level air dalam suatu pipa vertikal terbuka (standpipe) sebesar 90 ft di atas permukaan tanah. Berapa tekanan statik pada fire hydrant yang dihubungkan ke pipa tersebut dan diletakan pada permukaan tanah. Nyatakan tekanannya dalam SI dan BG ?
3. Berapa tinggi kolom cairan SAE 30 yang memberikan tekanan sebesar 700 mm Hg ?
4. Berapa tekanan dalam air laut pada kedalaman 50 m dari permukaan ?
5. Tekanan darah biasanya dinyatakan sebagai rasio tekanan maksimum (sytolic pressure) dan tekanan minimum (diastolic pressure). Contoh, seorang yang sehat mempunyai rasio tekanan 120/70 mmHg. Tentukan besar tekanan tersebut dalam pascal dan psi.
6. Untuk tekanan atmosfer 101 kPa (abs), tentukan tinggi kolom cairan barometer yang berisi cairan mercury, air dan ethyl alcohol.
7. Sebuah pesawat boing 737-400 terbang pada ketinggian 24000 ft. Berapa tekanan udara (atmosfir) pada elevasi tersebut.
8. Sebuah tangki seperti tampak pada gambar P2.27 berisi oil, air dan glycerin. Bagian bawah tangki dihubungkan dengan manometer dengan fluida merkuri. Berapa tinggi kolom merkuri, h ?
9. Manometer merkuri pada gambar P2.23 menunjukkan perbedaan pembacaan 0.30 m bila tekanan dalam pipa A sebesar 25 mmHg vakum. Berapa besar tekanan dalam pipa B ?
10. Manometer merkuri differensial pada gambar P2.35 dihubungkan ke pipa A yang berisi gasoline dengan SG = 0.65 dan dihubungkan dengan air pada pipa B. Tentukan tinggi h , jika tekanan dalam A 20 kPa dan dalam B vakum sebesar 150 mmHg.
11. Perhatikan gambar P2.41. Berdasarkan data pada gambar tersebut, berapa tekanan atmosfer pada permukaan air laut ?
12. Pada gambar P2.43 pipa A berisi gasoline dengan SG = 0.7, pipa B berisi oil dengan SG = 0.9 dan cairan manometer merkuri. Tentukan pembacaan beda tekanan yang baru jika tekanan dalam pipa A berkurang 25 kPa dan tekanan dalam pipa B tetap konstan. Pembacaan awal adalah 0.3 m.



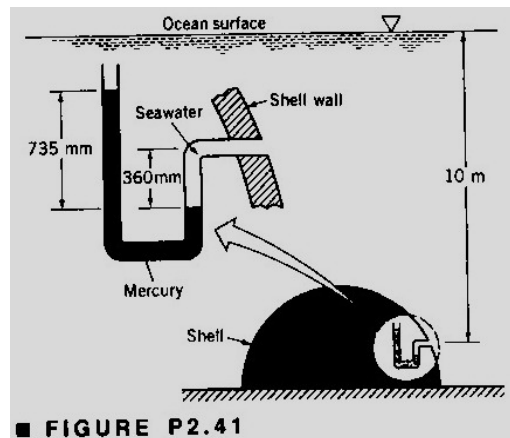
■ FIGURE P2.27



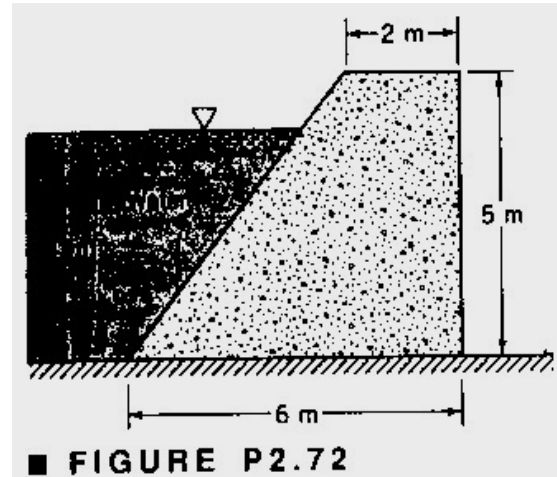
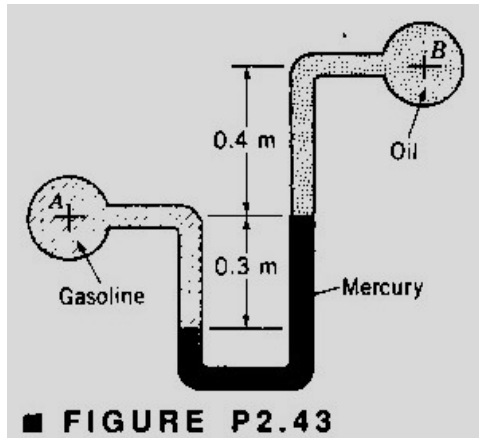
■ FIGURE P2.33



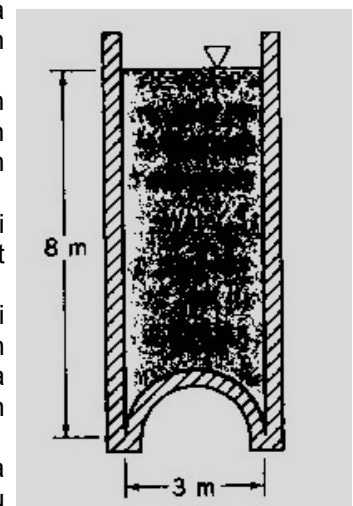
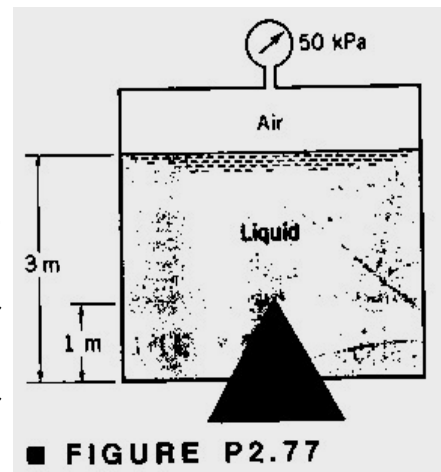
■ FIGURE P2.35



■ FIGURE P2.41



13. Penyumbat (plug) pada dasar tangki bertekanan berbentuk kerucut seperti tampak pada gambar. Tekanan udara 50 kPa dan cairan dalam tangki mempunyai berat jenis 27 kN/m^3 . Tentukan besar dan arah gaya yang bekerja pada penyumbat karena tekanan sebesar 50 kPa dan cairan yang ada di atasnya.
14. Bendungan dari beton mempunyai berat jenis 23.6 kN/m^3 . Tentukan koefisien gesek minimum antara bendungan dan fondasi solid untuk menahan bendungan dari geseran yang disebabkan oleh air yang mempunyai kedalaman 4 m.
15. Tangki silinder terbuka berdiameter 3 m mempunyai bagian dasar berbentuk setengah bola. Tentukan besar dan arah gaya yang bekerja pada bagian dasar tangki.
16. Kontainer terbuka berisi oil berada di atas truck yang bergerak pada kecepatan 80 km/h. Truck memperlambat lajunya dan berhenti dalam waktu 5 s. Berapa kemiringan oil dalam tangki selama periode perlambatan konstan ?
17. Sebuah tangki berukuran 1 m x 2 m berisi gasoline dengan kedalaman 1 m. Jika tinggi tangki 1.5 m, berapa percepatan horizontal maksimum tangki yang dapat diberikan sebelum gasoline tumpah ?
18. Jika tangki pada soal 17 meluncur ke bawah tanpa gesekan di atas bidang miring pada 30° dari horizontal, tentukan sudut permukaan bebas terhadap sumbu horizontal.
19. Sebuah tangki tertutup berdiameter 8 ft dan panjang 24 ft diisi penuh oleh gasoline. Tanki ditarik oleh sebuah truck dalam arah sumbu horizontalnya. Tentukan beda tekanan antara kedua ujung sepanjang sumbu tangki bila truck mengalami percepatan sebesar 5 ft/s^2 .
20. Tangki berdiameter 1 m berisi air dengan kedalaman 0.5 m bila dalam keadaan diam. Jika tangki diputar terhadap sumbu vertikal, pusat permukaan fluida turun. Pada putaran berapa dasar tangki dapat terlihat ? (air tumpah dari tangki)



3

DASAR-DASAR DINAMIKA FLUIDA

DASAR-DASAR DINAMIKA FLUIDA

Mempelajari fenomena yang berkaitan dengan gerakan fluida.

HUKUM NEWTON KEDUA

Suatu fluida bergerak dari satu lokasi ke lokasi lainya biasanya mengalami percepatan atau perlambatan. Menurut hukum Newton kedua, gaya netto yang bekerja pada partikel fluida sama dengan massa dikalikan percepatannya.

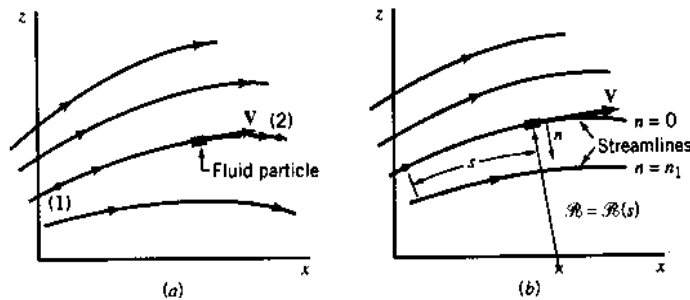
$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Dalam dinamika fluida, diamati gerakan fluida inviskid, yaitu fluida yang dianggap mempunyai viskositas yang besarnya nol. Jika viskositasnya nol, maka konduktivitas termal fluida juga nol dan tidak ada perpindahan panas (kecuali radiasi).

Dalam praktek tidak ada fluida inviskid, karena setiap fluida menahan tegangan geser apabila dibebani perpindahan. Pada beberapa situasi aliran efek viskos sangat kecil dibandingkan dengan efek yang lainnya. Pendekatan pertama untuk kasus seperti itu sering mengabaikan pengaruh viskos. Sebagai contoh, sering gaya viskos yang terjadi dalam aliran air beberapa orde besarnya lebih kecil daripada pengaruh lainnya seperti gravitasi atau perbedaan tekanan. Pada situasi aliran lainnya bagaimanapun juga efek viskos mungkin dapat lebih dominan. Hal yang sama, efek viskos yang berhubungan dengan aliran gas sering diabaikan walaupun dalam beberapa situasi efek viskos sangat penting. Hukum Newton kedua untuk aliran fluida yang dipengaruhi oleh tekanan dan gaya gravitasi adalah

Gaya tekanan netto + Gaya gravitasi = massa partikel x percepatan partikel

Untuk menerapkan Hukum Newton kedua pada fluida, harus didefinisikan sistem koordinat pendekatan yang menggambarkan gerakan fluida. Pada umumnya gerakan fluida dapat tiga dimensi dan unsteady sehingga koordinat ruang dan waktu diperlukan untuk menggambarnya. Sejumlah sistem koordinat yang sering digunakan untuk menggambarkan gerakan fluida antara lain sistem rectangular (x, y, z) dan sistem cylindrical (r, θ, z).



■ FIGURE 3.1
(a) Flow in the x - z plane. (b) Flow in terms of streamline and normal coordinates.

Untuk aliran steady setiap partikel fluida bergerak sepanjang path-nya, dan vektor kecepatannya menyinggung path itu. Garis yang menyinggung vektor kecepatan di seluruh medan aliran disebut garis arus (streamline). Untuk banyak situasi aliran, sangat mudah menggambarkan aliran menggunakan istilah garis arus seperti diperlihatkan pada gambar di atas.

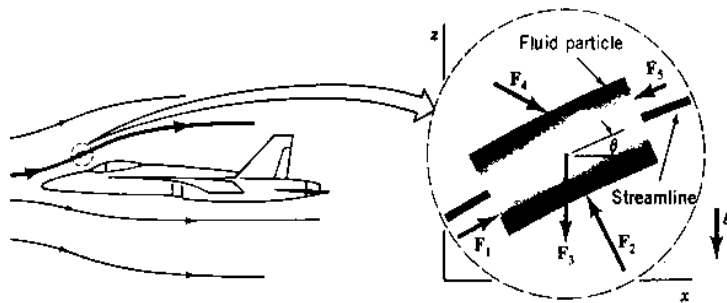
Gerakan partikel digambarkan dengan jaraknya, $s = s(t)$ sepanjang garis arus. Kecepatan partikel fluida, $V = ds/dt$. Untuk menerapkan hukum Newton kedua pada partikel yang bergerak sepanjang garis arusnya, perlu didefinisikan percepatan dalam koordinat garis arus. Definisi percepatan,

$$\vec{a} = d\vec{V} / dt$$

Komponen percepatan dalam arah s dan n adalah

$$a_s = V \frac{\partial V}{\partial s}$$

$$a_n = \frac{V^2}{R}$$



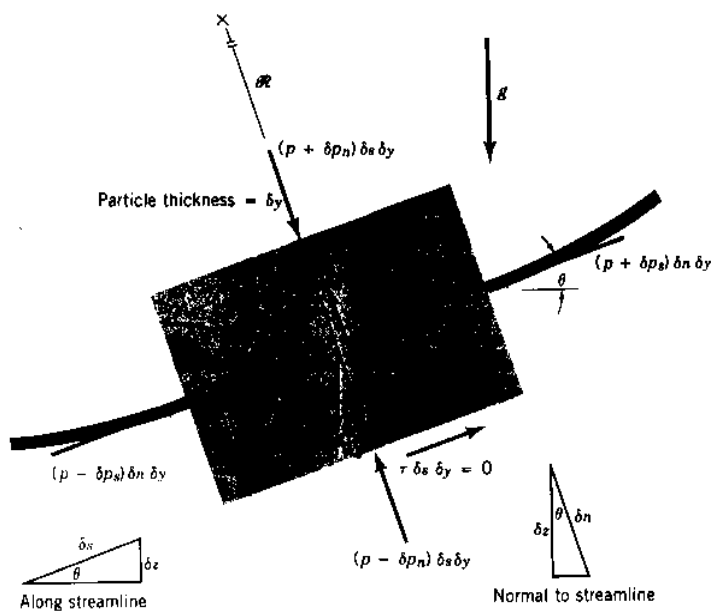
■ FIGURE 3.2 Isolation of a small fluid particle in a flow field.

HUKUM NEWTON SEPANJANG GARIS ARUS

Untuk aliran steady, komponen gaya sepanjang garis arus (s) dapat ditulis sebagai berikut

$$\sum \delta F_s = \delta m a_s = \delta m V \frac{\partial V}{\partial s} = \rho \delta V V \frac{\partial V}{\partial s}$$

$$\sum \delta F_s = \delta W_s + \delta F_{ps} = \left(-\gamma \sin \theta - \frac{\partial P}{\partial s} \right) \delta s$$



■ FIGURE 3.3 Free-body diagram of a fluid particle for which the important forces are those due to pressure and gravity.

$$-\gamma \sin \theta - \frac{\partial p}{\partial s} = \rho V \frac{\partial V}{\partial s}$$

$$-\gamma \frac{dz}{ds} - \frac{dp}{ds} = \rho \frac{1}{2} \frac{d(V^2)}{ds}$$

Menyelesaikan jumlah komponen gaya dan percepatan yang bekerja pada partikel fluida dalam arah s, didapat

$$dp + \frac{1}{2} \rho d(V^2) + \gamma dz = 0 \quad (1)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan di atas diperoleh

$$\int \frac{dp}{\rho} + \frac{1}{2} V^2 + gz = C$$

$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 + \gamma z = C \quad (2)$$

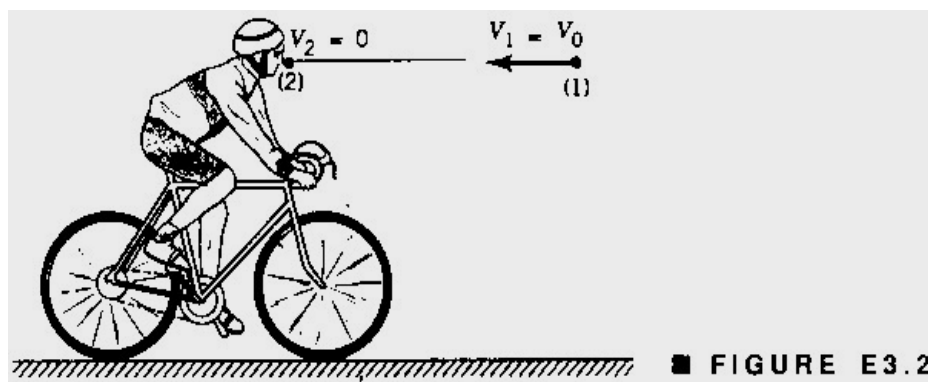
Persamaan yang terakhir di atas dikenal dengan persamaan Bernoulli. Batasan persamaan Bernoulli :

- Mengabaikan efek kompresibilitas (aliran inkompresibel)
- Aliran steady
- Diterapkan sepanjang garis arus (dari satu titik ke titik lain pada satu garis arus)
- Mengabaikan efek viskos (gesekan diabaikan)

Suku pertama dalam persamaan Bernoulli, p disebut juga tekanan statik. **Tekanan statik** adalah tekanan relatif terhadap fluida yang bergerak. Suku kedua disebut juga dengan **tekanan dinamik**, dan suku ketiga disebut juga dengan **tekanan hidrostatis**. Jumlah dari tekanan statik, tekanan dinamik dan tekanan hidrostatis disebut juga dengan **tekanan total**, sedangkan jumlah dari tekanan statik dan tekanan dinamik disebut juga dengan **tekanan stagnasi**. Untuk mengukur tekanan statik dan stagnasi dapat digunakan tabung pitot statik-stagnasi.

Contoh:

Perhatikan aliran udara di sekitar pengendara sepeda yang bergerak pada kecepatan V_0 . Tentukan beda tekanan antara titik (1) dan (2)



Penyelesaian

Persamaan Bernoulli untuk titik (1) dan (2)

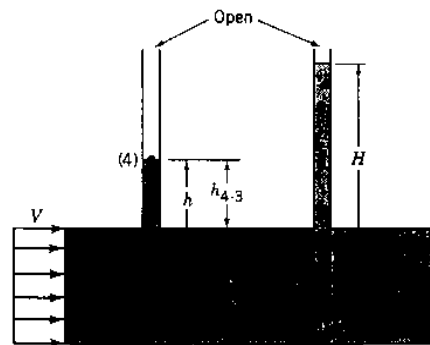
$$p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \gamma z_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \gamma z_2$$

Perhatikan bahwa $z_1 = z_2$ dan $v_2 = 0$, maka

$$p_2 - p_1 = \frac{1}{2} \rho V_1^2$$

TEKANAN STATIK, STAGNASI, DINAMIK DAN TOTAL

Tekanan statik, p , adalah tekanan termodinamik aktual aliran fluida yang diukur relative terhadap aliran fluida. Cara lain mengukur tekanan statik adalah dengan cara membuat lubang kecil pada permukaan saluran dan memasang tabung piezometer untuk mengukurnya.



■ FIGURE 3.4 Measurement of static and stagnation pressures.

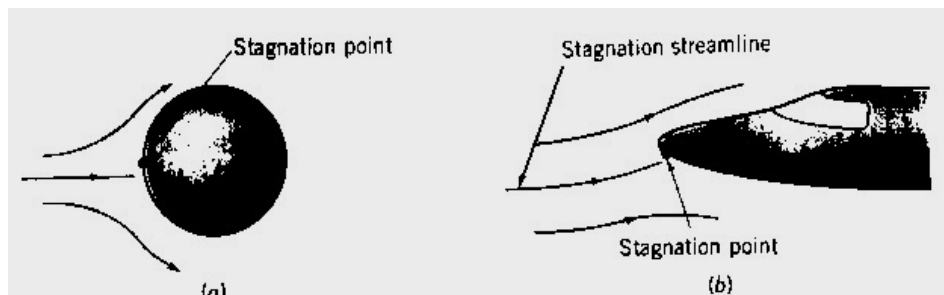
Tekanan hidrostatik adalah tekanan karena variasi energi potensial fluida yang disebabkan oleh perubahan elevasi fluida. $p = \gamma h$.

Tekanan dinamik adalah tekanan yang ditimbulkan oleh energi kinetik aliran fluida. $p = \rho \frac{1}{2} V^2$.

Tekanan stagnasi adalah tekanan fluida dimana pada kondisi kecepatannya berubah menjadi nol. Besar tekanan stagnasi dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$p_2 = p_1 + \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (3)$$

dimana p_1 adalah tekanan statik dan $\rho \frac{1}{2} V^2$ adalah tekanan dinamik.



■ FIGURE 3.5 Stagnation points on bodies in flowing fluids.

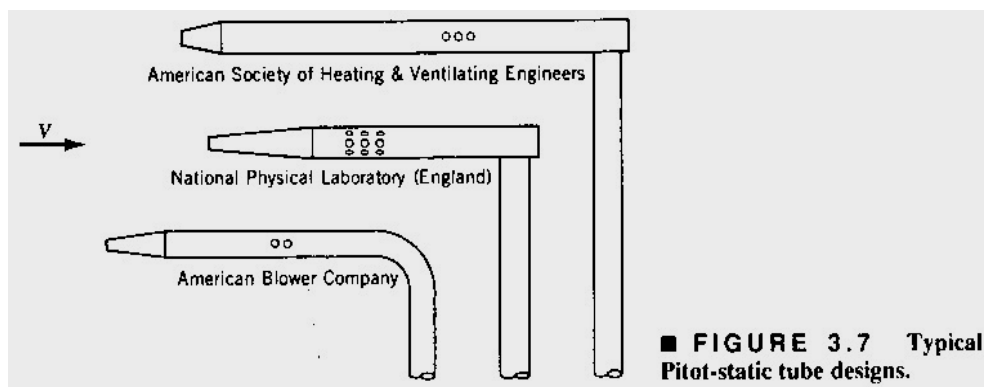
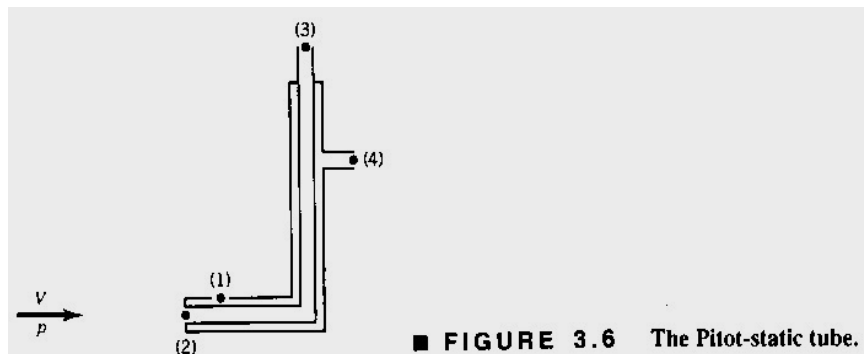
Jumlah tekanan statik, tekanan hidrostatis dan tekanan dinamik disebut juga dengan tekanan total, P_T . Persamaan Bernoulli menyatakan bahwa tekanan total tetap konstan disepanjang garis arus.

$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 + \gamma z = P_T = C \quad (4)$$

Dengan diketahuinya tekanan statik dan tekanan stagnasi maka kecepatan aliran fluida dapat dihitung. Tekanan statik dan tekanan stagnasi dapat diukur menggunakan tabung pitot statik, yaitu dua tabung konsentris yang digunakan untuk mengukur beda tekanan stagnasi dan tekanan statik.

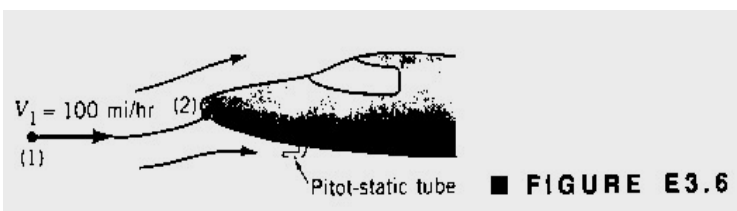
Kecepatan fluida, V dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$V = \sqrt{\frac{2(p_3 - p_4)}{\rho}} \quad (5)$$

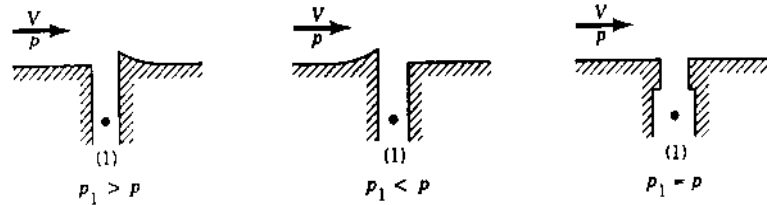


Contoh:

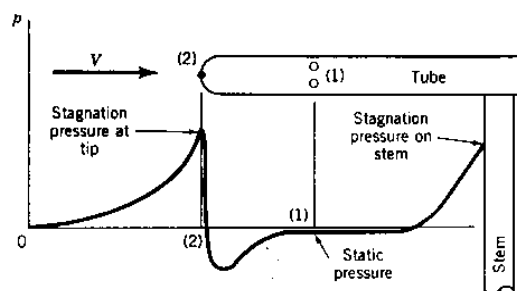
Pesawat terbang pada kecepatan 100 mi/hr pada ketinggian 10000 ft. Tentukan tekanan pada titik (1) yang jauh dari hidung pesawat, tekanan pada titik stagnasi pada hidung pesawat (2), dan beda tekanan yang terbaca pada sensor pitot-static.



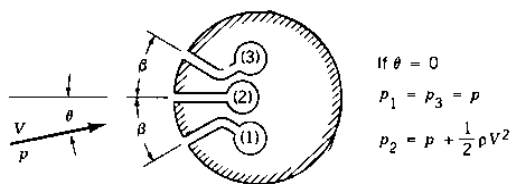
Tabung pitot-statik sangat sederhana dan murah untuk mengukur kecepatan fluida. Penggunaannya bergantung pada kemampuan mengukur tekanan statik dan stagnasi. Kehati-hatian sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang teliti. Perhatikan gambar 3.8, 3.9 dan 3.10 untuk mendisain tap tekanan statik yang benar agar diperoleh hasil pengukuran tekanan yang teliti.



■ FIGURE 3.8 Incorrect and correct design of static pressure taps.



■ FIGURE 3.9 Typical pressure distribution along a Pitot-static tube.

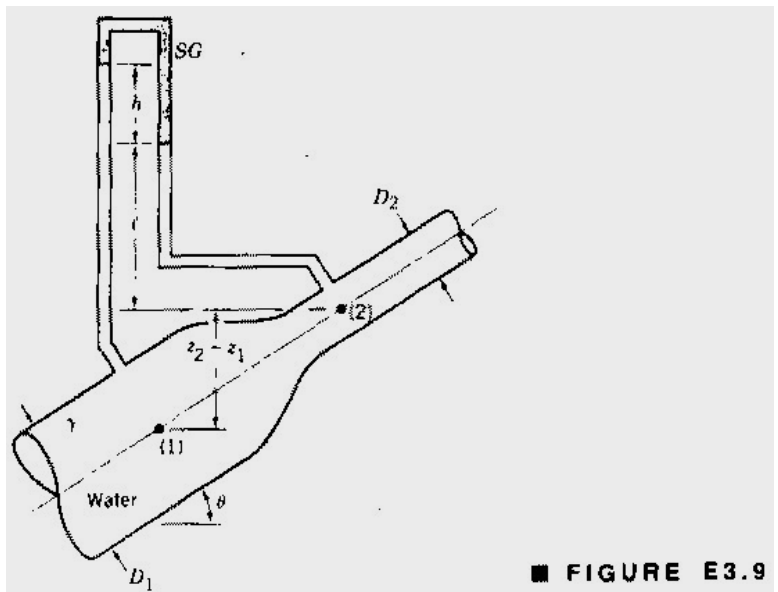


If $\theta = 0$
 $p_1 = p_3 = p$
 $p_2 = p + \frac{1}{2} \rho V^2$

■ FIGURE 3.10 Cross section of a directional-finding Pitot-static tube.

Contoh:

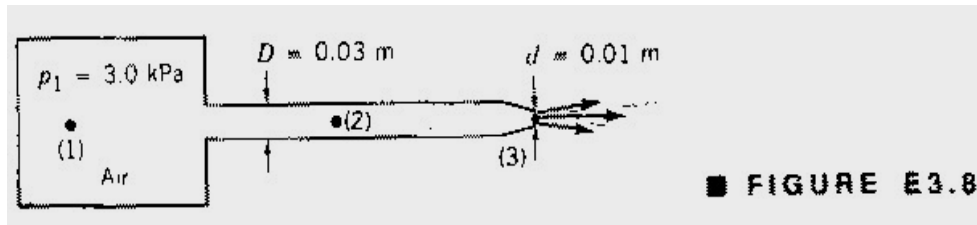
Air mengalir melalui reduser pipa seperti tampak pada gambar di bawah. Tekanan statik (1) dan tekanan statik (2) diukur menggunakan manometer U terbalik yang berisi oil dengan spesifik gravitasi lebih kecil dari satu. Tentukan tinggi h .



■ FIGURE E3.9

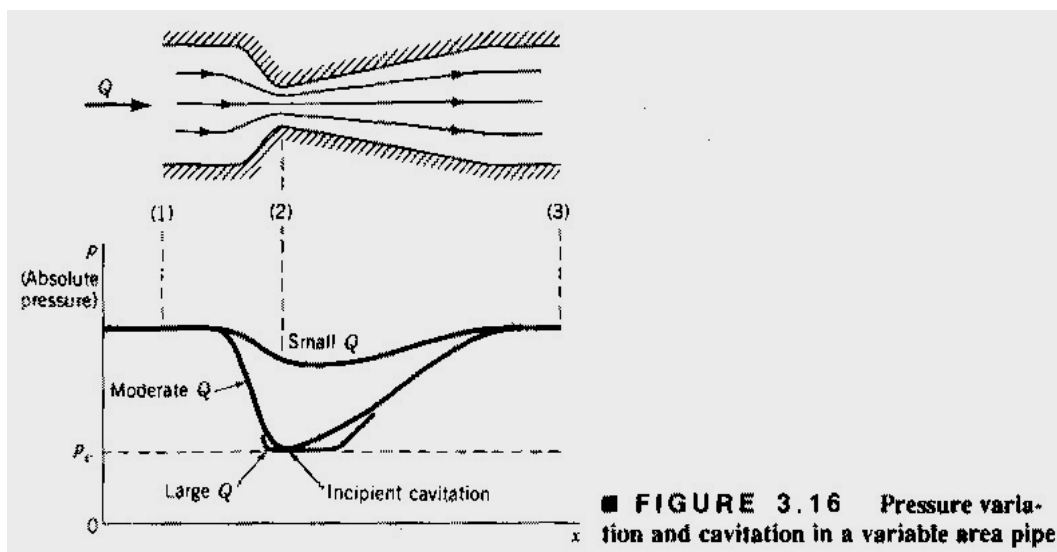
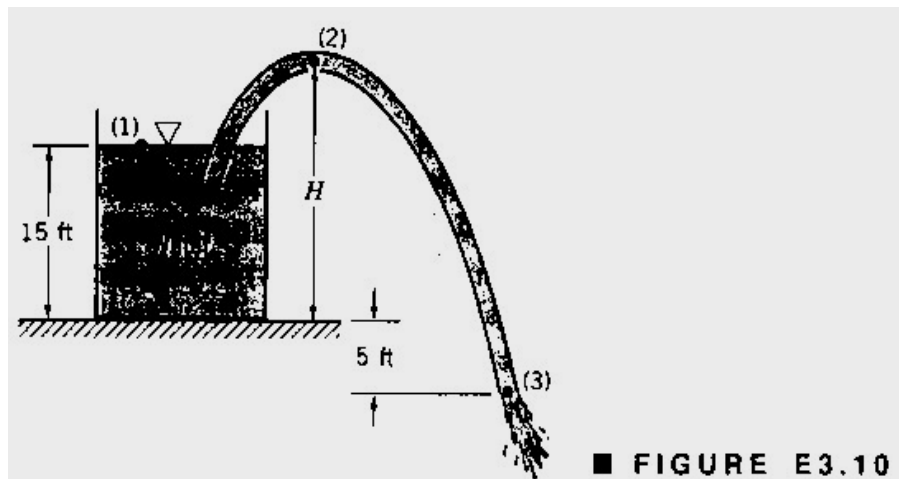
Contoh:

Udara mengalir secara steady dari suatu tangki melalui suatu saluran berdiameter $D = 0.03$ m dan keluar ke udara luar melalui nosel berdiameter $d = 0.01$ m seperti diperlihatkan pada gambar di atas. Tekanan dalam tangki tetap konstan sebesar 3 kPa (gage). Tentukan laju aliran udara dalam saluran.



Contoh:

Air pada 60°F dikeluarkan menggunakan siphon berdiameter konstan dari tangki yang besar. Tentukan tinggi H maksimum yang dapat mengalirkan air tanpa terjadi kavitasi.



PENGUKURAN LAJU ALIRAN

Banyak peralatan yang telah dikembangkan menggunakan persamaan Bernoulli untuk mengukur kecepatan fluida dan laju aliran. Misalnya Tabung pitot statik dan tabung pitot statik-stagnasi digunakan untuk mengukur tekanan statik, tekanan statik dan stagnasi, atau kecepatan aliran.

Cara yang efektif untuk mengukur laju aliran melalui pipa adalah dengan cara menempatkan hambatan dalam pipa dan kemudian mengukur beda tekanan antara kecepatan aliran yang rendah dan kecepatan aliran yang tinggi. Ada tiga jenis alat ukur laju aliran yang banyak digunakan yaitu orifice meter, nozzle meter dan venturi meter.

Dengan menganggap bahwa aliran dalam alat ukur adalah horizontal ($z_1 = z_2$), steady, inkompresibel dan inviskid antara titik (1) dan (2), maka persamaan Bernoulli menjadi

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

Jika dianggap profil kecepatan dalam saluran seragam pada seksi (1) dan (2), persamaan kontinuitas dapat ditulis

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

Mengkombinasikan kedua persamaan diatas, maka persamaan laju aliran teoritis pada seksi (2) adalah

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho [1 - (A_2 / A_1)^2]}} \quad (6)$$

Untuk mengukur laju aliran dalam saluran terbuka seperti irigasi, dapat digunakan weirmeter atau sluice gate.

Laju aliran melalui weirmeter segiempat,

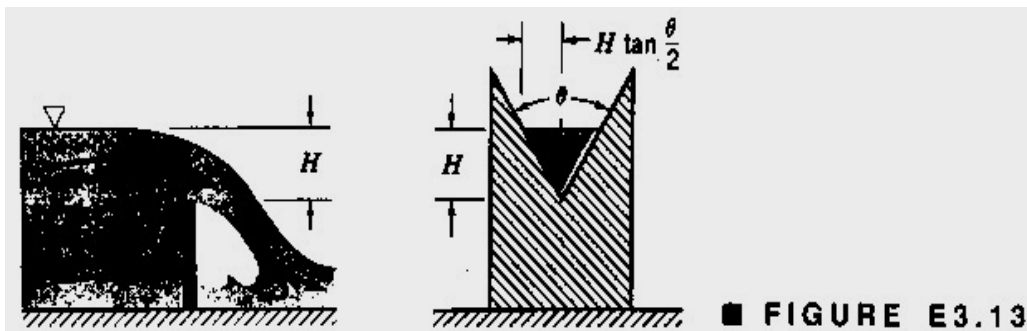
$$Q = C_q b \sqrt{2gH^{3/2}} \quad (7)$$

dimana C_q = Konstanta aliran, ditentukan dari kalibrasi, H adalah head, dan b adalah lebar weir.

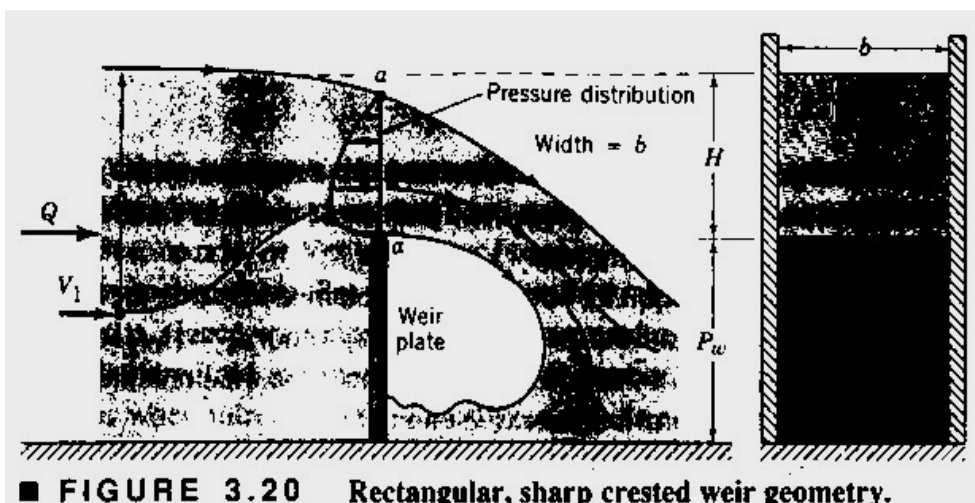
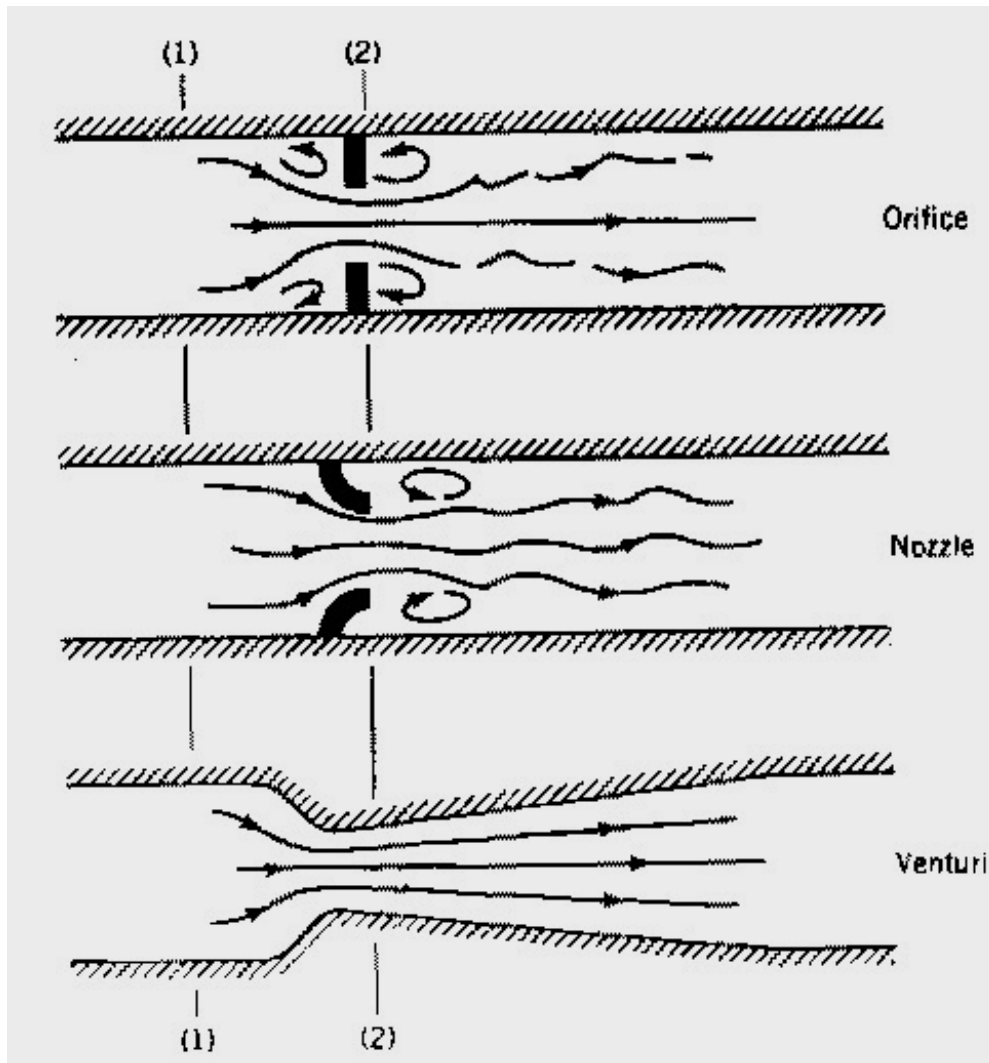
Laju aliran melalui saluran sluice,

$$Q = z_2 b \sqrt{2gz_1} \quad (8)$$

dimana b = lebar saluran, z_1 = tinggi permukaan air tertinggi dan z_2 = tinggi permukaan air terendah.



■ FIGURE E3.13



■ FIGURE 3.20 Rectangular, sharp crested weir geometry.

Contoh:

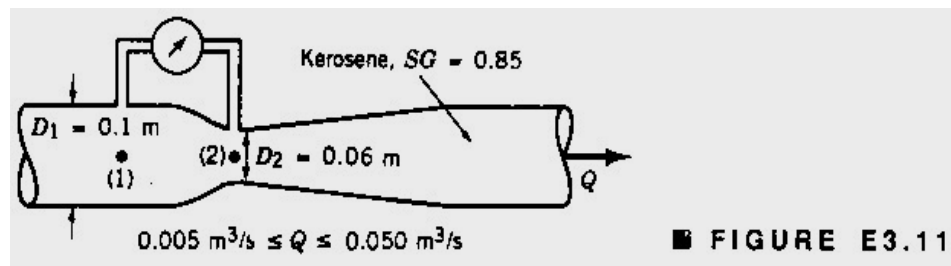
Pengukuran laju aliran air menggunakan orifice meter dengan $D = 1$ in dan $d = 10$ mm. Beda tekanan antara kecepatan rendah dan tinggi adalah 30 cmHg. Tentukan besar laju aliran air.

Contoh:

Kapal selam bergerak dalam air laut ($SG = 1.03$) pada kedalaman 50 m dengan kecepatan 5.0 m/s. Tentukan tekanan stagnasi pada hidung kapal selam tersebut.

Contoh:

Kerosene ($SG = 0.85$) mengalir melalui venturimeter dengan laju antara $0.005 - 0.050$ m^3/s . Tentukan range beda tekanan yang diperlukan untuk mengukur laju aliran ini.



Penyelesaian _____

Dari persamaan (6) dapat diperoleh,

$$p_1 - p_2 = \frac{Q^2 \rho [1 - (A_1 / A_2)^2]}{2 A_2^2}$$

Densitas fluida,

$$\rho = SG \rho_{H_2O} = 850 \text{ kg} / \text{m}^3$$

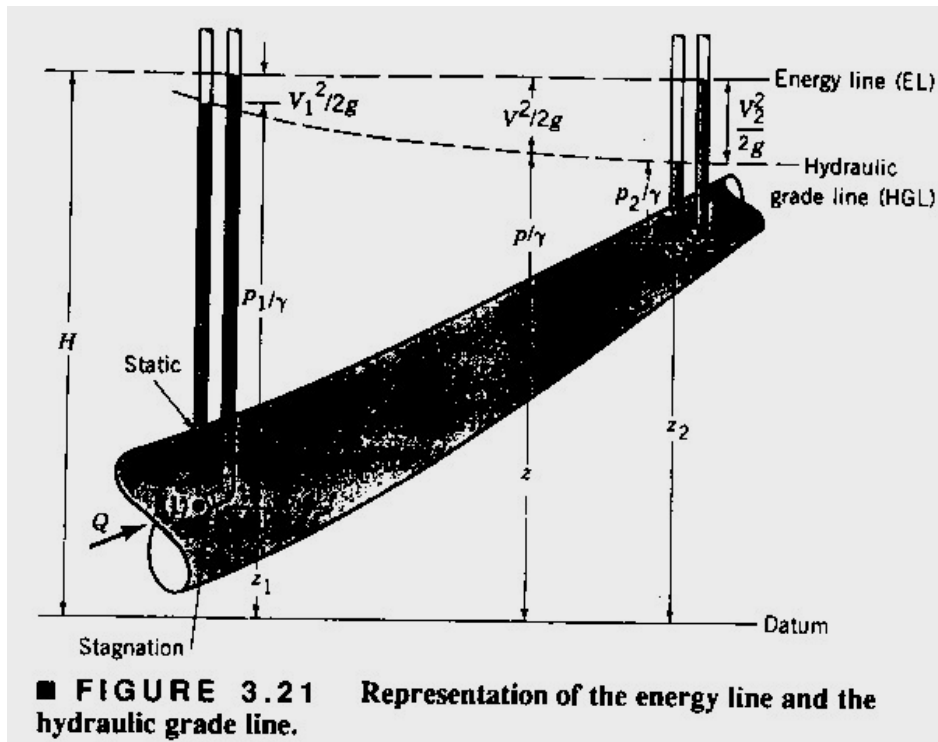
Beda tekanan untuk laju aliran terkecil, $Q = 0.005 \text{ m}^3/s$

$$p_1 - p_2 = (0.005 \text{ m}^3 / \text{s})^2 (850 \text{ kg} / \text{m}^3) \frac{[1 - (0.06 \text{ m} / 0.10 \text{ m})^4]}{2 [(\pi / 4)(0.06 \text{ m})^2]^2} = 1.16 \text{ kPa}$$

Beda tekanan untuk laju aliran terbesar, $Q = 0.05 \text{ m}^3/s$

$$p_1 - p_2 = (0.05 \text{ m}^3 / \text{s})^2 (850 \text{ kg} / \text{m}^3) \frac{[1 - (0.06 \text{ m} / 0.10 \text{ m})^4]}{2 [(\pi / 4)(0.06 \text{ m})^2]^2} = 116 \text{ kPa}$$

ENERGY LINE (EL) DAN HYDRAULIC GRADE LINE



Interpretasi persamaan Bernoulli akan lebih mudah dipahami apabila disajikan dalam bentuk grafik. Konsep hydraulic grade line (HGL) dan energy line (EL) merupakan ide untuk menampilkan interpretasi secara geometri aliran. Persamaan Bernoulli dapat dinyatakan dalam bentuk,

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = H \quad (9)$$

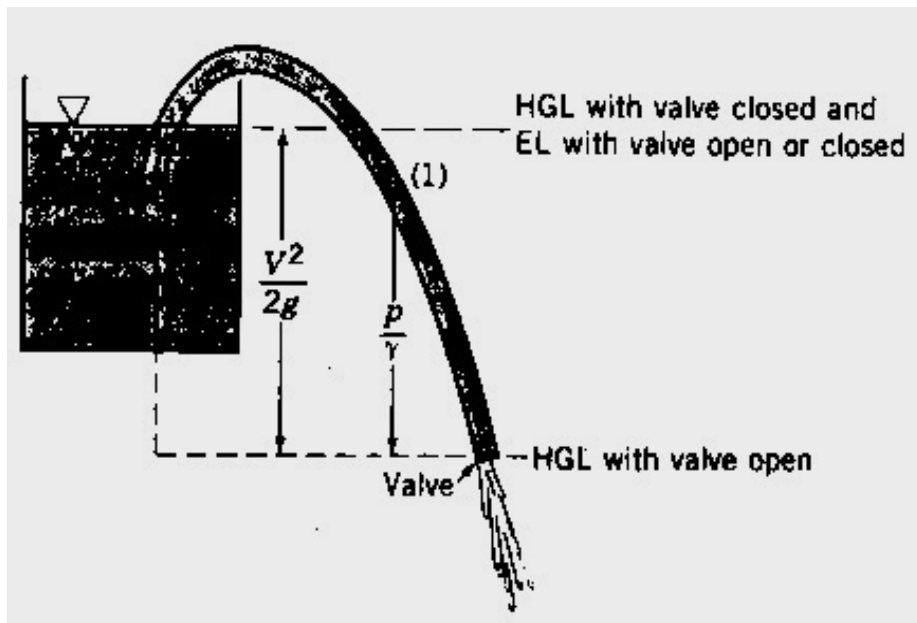
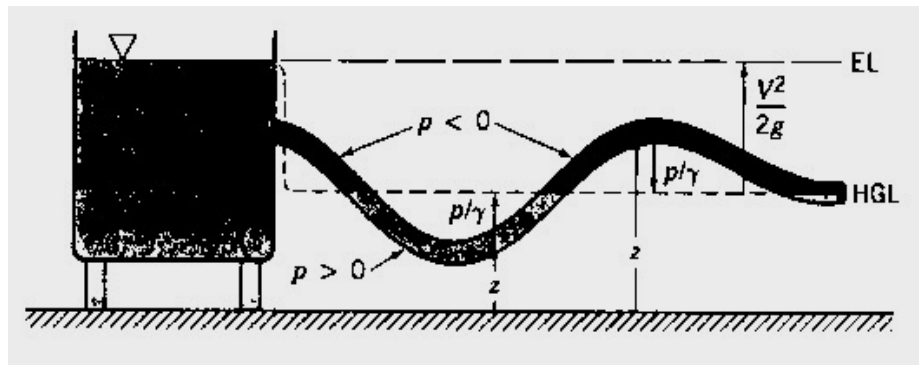
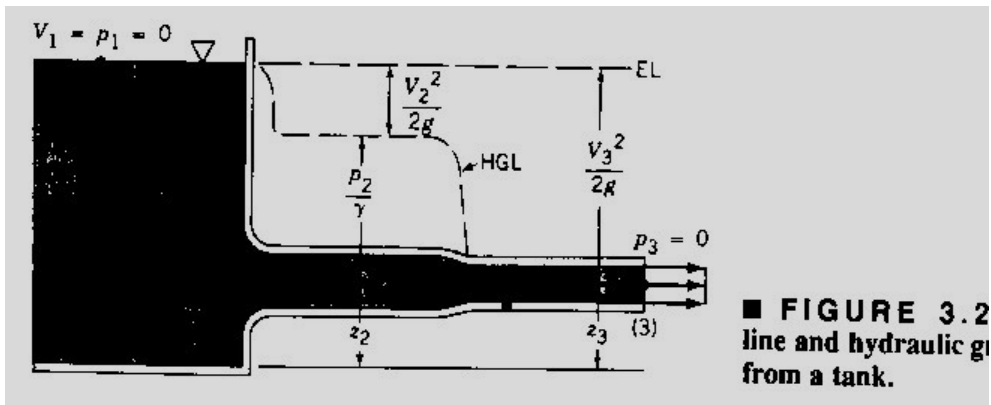
Persamaan Bernoulli menyatakan bahwa jumlah head tekanan, head kecepatan dan head elevasi adalah konstan sepanjang garis arus. H adalah head total.

Energy Line (EL) adalah garis yang menggambarkan head total fluida yang tersedia. Seperti terlihat pada gambar di atas, elevasi EL dapat diperoleh dengan cara mengukur tekanan stagnasi menggunakan tabung pitot. Titik stagnasi pada ujung tabung pitot mengukur head total (energi) aliran fluida.

Tekanan statik yang diukur menggunakan tabung piezometer mengukur jumlah head tekanan dan head elevasi. Jumlah head ini sering disebut head piezometer. Tap tekanan statik tidak mengukur head kecepatan.

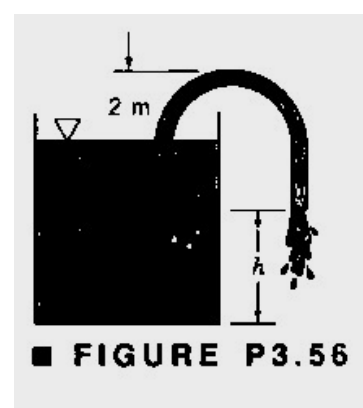
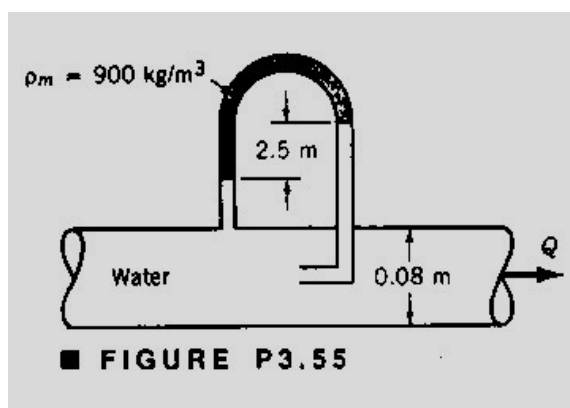
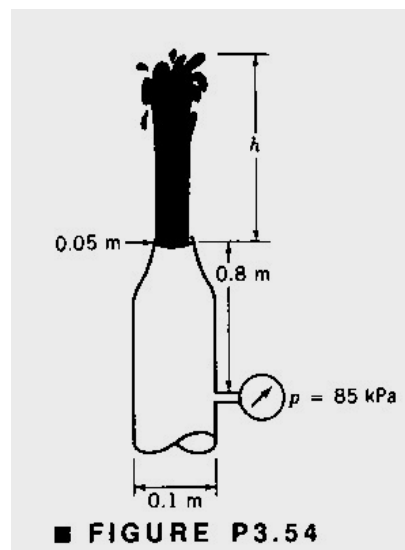
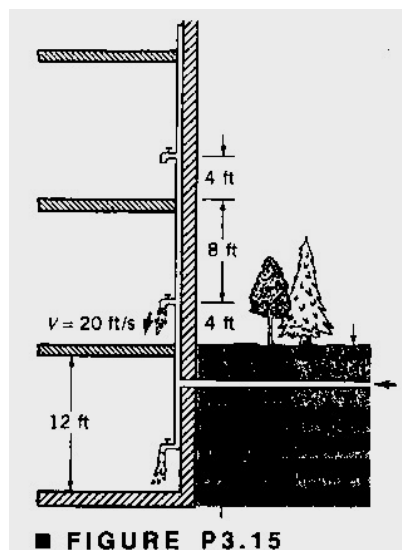
Menurut persamaan (9) head total tetap konstan sepanjang garis arus dengan demikian tabung pitot yang dipasang di lokasi yang lain akan mengukur besar head total yang sama seperti diperlihatkan pada gambar di atas, namun head elevasi, head kecepatan dan head tekanan akan bervariasi sepanjang garis arus.

Lokasi atau titik-titik yang diberikan oleh serangkaian tabung pitot akan membentuk suatu garis yang disebut dengan energy line (EL). Sedangkan yang diberikan oleh tap piezometer disebut juga dengan hydraulic grade line (HGL). Jika kecepatan fluida berubah sepanjang garis arus, maka HGL tidak akan horizontal. Jika efek viskos diabaikan maka EL akan horizontal.

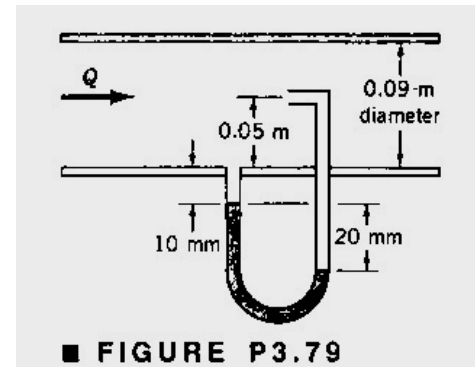
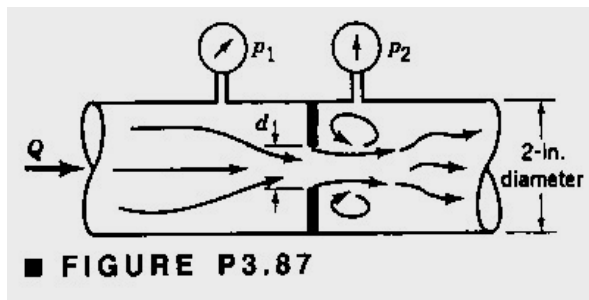
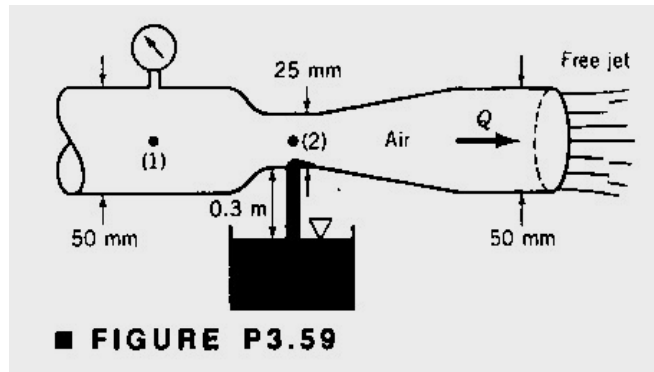


SOAL-SOAL

1. Berapa gradien tekanan sepanjang garis arus, dp/ds yang diperlukan untuk mempercepat air dalam pipa horizontal pada laju 10 m/s^2 ?
2. Free Jets, aliran cairan yang keluar dari reservoir melalui suatu nosel berdiameter d . Ketinggian permukaan cairan dalam reservoir terhadap nosel adalah h . Tentukan kecepatan aliran cairan melalui nosel !
3. Arus air dalam saluran berdiameter 10 cm mengalir dari sebuah tangki berdiameter 1 m. Jika saluran berada pada kedalaman 2 m dan dipertahankan konstan, tentukan debit air yang dimasukan ke dalam tangki.
4. Air mengalir secara steady dari sebuah tangki melalui pipa berdiameter 30 mm dan keluar ke atmosfer melalui sebuah nosel berdiameter 10 mm. Jika tekanan dalam tangki dipertahankan konstan, tentukan laju aliran air dan tekanan dalam saluran.
5. Air pada temperatur 20°C keluar dari reservoir melalui siphon yang berdiameter $5/8 \text{ in}$. Tinggi puncak siphon tertinggi dari permukaan air adalah 50 mm dan ketinggian permukaan air terhadap ujung siphon yang berada di bawah dasar tangki adalah 1.5 m. Tentukan tekanan dipuncak siphon dan laju aliran air yang keluar.
6. Air mengalir dari sebuah keran di lantai satu dari sebuah gedung (gambar P3.15) dengan kecepatan maksimu $sp \text{ fps}$. Tentukan kecepatan maksimum air keluar dari keran di basement dan dari keran di lantai 2. Anggap tinggi masing-masing lantai 12 ft.
7. Air mengalir dari sebuah nosel seperti terlihat pada gambar P3.54, Tentukan besar laju aliran air dan tinggi h .
8. Tentukan besar laju aliran melalui pipa dalam gambar P3.55.
9. Perhatikan gambar P3.56. Tentukan tinggi h agar air dapat mengalir.



10. Perhatikan gambar P3.59. Tentukan besar laju aliran Q dan tekanan di seksi (1) agar air dapat terhisap ke seksi (2).
11. Spesifik gravitasi fluida manometer dalam gambar P3.79 adalah 1.07. Tentukan besar laju aliran Q jika fluida yang mengalir adalah air, gasoline atau udara.
12. Berapa diameter d yang diperlukan jika besar laju aliran $Q = 30$ gpm (air laut) dengan beda tekanan yang terbaca sebesar 2.73 Psi. Anggap koefisien kontraksi sebesar 0.63.



4

KINEMATIKA FLUIDA

MEDAN KECEPATAN

Kecepatan fluida bergantung pada koordinat ruang dan waktu, $V = V(x,y,z,t)$. Oleh karena itu kecepatan fluida disebut juga medan kecepatan. Medan kecepatan dinyatakan sebagai berikut:

$$\vec{V} = u(x, y, z, t)\hat{i} + v(x, y, z, t)\hat{j} + w(x, y, z, t)\hat{k}$$

dimana u , v dan w adalah vektor kecepatan dalam arah sumbu x , y dan z . Besar vektor V ditentukan sebagai berikut:

$$|\vec{V}| = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$$

Contoh:

Diketahui medan kecepatan aliran sebagai berikut :

$$\vec{V} = (3xy + 2)\hat{i} + (x - 4)\hat{j} + 5z\hat{k} \quad m/s$$

dimana x , y , z dalam meter . Tentukan besar dan arah kecepatan fluida pada titik asal (origin).

Penyelesaian

Titik asal (origin) : $x = y = z = 0$.

Komponen kecepatan dalam arah sumbu x , y , dan z :

$$u = (3xy + 2) = 2$$

$$v = (x - 4) = -4$$

$$w = 5z = 0$$

Besar kecepatan di titik asal :

$$|\vec{V}| = \sqrt{2^2 + (-4)^2 + 0^2} = 2\sqrt{5} \quad m/s$$

Arah vektor kecepatan pada titik asal,

$$\tan \alpha = \frac{v}{u}$$

$$\alpha = \tan^{-1}(-2) = \dots\dots\dots$$

Soal :

1. Suatu aliran dinyatakan dengan komponen kecepatan $u = y - 1$ dan $v = y - 2$ dimana x dan y dalam meter. Tentukan medan kecepatannya dan tentukan besar kecepatan fluida melalui titik $(x,y) = (2,3)$
2. Komponen kecepatan dalam arah sumbu x dan y aliran dua dimensi adalah $u = 6y$ (m/s) dan $v = 3$ (m/s) dimana y dalam meter. Tentukan medan kecepatannya dan besar kecepatan fluida melalui titik $(x,y) = (2,3)$
3. Medan kecepatan aliran sebagai berikut : $V = 2x^2t \hat{i} + [4y(t-1) + 2x^2t] \hat{j}$ (m/s), dimana x dan y dalam meter dan t dalam detik. Untuk partikel fluida pada sumbu x , tentukan kecepatan dan arah aliran.

MEDAN PERCEPATAN

Medan percepatan fluida merupakan fungsi dari posisi dan waktu. Dari definisi percepatan bahwa percepatan suatu partikel adalah laju perubahan kecepatannya, maka medan percepatan dapat diperoleh seperti persamaan berikut :

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = u \frac{\partial \vec{V}}{\partial x} + v \frac{\partial \vec{V}}{\partial y} + w \frac{\partial \vec{V}}{\partial z}$$

Dalam bentuk skalar,

$$\begin{aligned} a_x &= u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial t} \\ a_y &= u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial t} \\ a_z &= u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial t} \end{aligned}$$

Contoh:

Aliran fluida non-viskos, inkompresibel dan steady melalui sebuah bola berjari-jari a dan mempunyai kecepatan sepanjang garis arus tertentu sebagai berikut :

$$\vec{V} = V_o \left(1 + \frac{a^3}{x^3} \right) \hat{i}$$

Tentukan percepatan partikel sepanjang garis arus tersebut.

Penyelesaian

Dari medan kecepatan yang diberikan tampak bahwa hanya ada satu komponen kecepatan yaitu komponen kecepatan dalam arah sumbu x ($y = z = 0$). Dari persamaan di atas diperoleh:

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + u \frac{\partial \vec{V}}{\partial x} = \left(\frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial u}{\partial x} \right) \hat{i}$$

atau

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} \\ a_y &= 0 \\ a_z &= 0 \end{aligned}$$

untuk aliran steady, $\partial u / \partial t = 0$, jadi

$$a_x = u \frac{\partial u}{\partial x} = V_o \left(1 + \frac{a^3}{x^3} \right) V_o \left[a^3 (-3x^{-4}) \right]$$

Soal :

1. Suatu aliran dinyatakan dengan komponen kecepatan $u = y - 1$ dan $v = y - 2$ dimana x dan y dalam meter. Tentukan Medan Percepatan dan besar percepatan fluida melalui titik $(x,y)=(2,3)$.
2. Komponen kecepatan dalam arah sumbu x dan y aliran dua dimensi adalah $u = 6y$ (m/s) dan $v = 3$ (m/s) dimana y dalam meter. Tentukan Medan Percepatan dan besar percepatan fluida melalui titik $(x,y)=(2,3)$.
3. Medan kecepatan aliran sebagai berikut : $V=2x^2\mathbf{i} + [4y(t-1) + 2x^2t]\mathbf{j}$ (m/s), dimana x dan y dalam meter dan t dalam detik. Untuk partikel fluida pada sumbu x , tentukan percepatan aliran.
4. Medan kecepatan dua dimensi dinyatakan dengan persamaan berikut : $V=2xt\mathbf{i} - 2yt\mathbf{j}$, dimana x dan y dalam meter dan t dalam detik. Tentukan komponen percepatan lokal dan konvektif dalam arah sumbu x dan y . Tentukan besar dan arah kecepatan dan percepatan pada titik $x=y=1$ m dan $t=0$!

ALIRAN SATU, DUA DAN TIGA DIMENSI

Umumnya aliran fluida agak rumit; tiga dimensi dan bergantung pada waktu $V=V(x,y,z,t)$. Pada beberapa situasi, dimungkinkan untuk membuat penyederhanaan aliran dengan beberapa asumsi yang dapat mempermudah pengertian tanpa mengorbankan ketelitian. Salah satu penyederhanaan ini antara lain menganggap aliran sesungguhnya (*real*) sebagai aliran satu atau dua dimensi.

Medan kecepatan aliran tiga dimensi mengandung tiga komponen kecepatan (u,v , dan w) dan masing-masing komponen kecepatan merupakan fungsi dari koordinat ruang dan waktu. Contoh medan aliran tiga dimensi :

$$\vec{V} = (3xy + 2)\hat{i} + (x - 4)\hat{j} + 5z\hat{k} \quad m/s$$

dimana $V = V\{u(x,y),v(x),w(z)\}$.

Kadang-kadang dalam aliran tiga dimensi terdapat satu komponen kecepatan yang relatif kecil terhadap dua komponen kecepatan lainnya sehingga sangat beralasan apabila komponen kecepatan terkecil tersebut diabaikan. Dengan demikian kita menganggap aliran tersebut menjadi aliran dua dimensi, yaitu

$$\vec{V} = u\hat{i} + v\hat{j}$$

Contoh medan aliran dua dimensi :

$$\vec{V} = \left(\frac{V_0}{l}\right)(x\hat{i} + y\hat{j})$$

dimana $V = V\{u(x),v(y)\}$.

Dalam menyederhanakan analisis aliran fluida sering diasumsikan bahwa dua komponen kecepatan diabaikan, sehingga medan kecepatan didekati dengan aliran satu dimensi.

$$\vec{V} = u\hat{i} \quad \vec{V} = v\hat{j} \quad \vec{V} = w\hat{k}$$

Contoh medan aliran satu dimensi :

$$\vec{V} = 3xt\hat{i} \quad \vec{V} = 2y\hat{j} \quad \vec{V} = 3z\hat{k}$$

ALIRAN STEADY DAN UNSTEADY

Suatu aliran merupakan aliran steady apabila medan kecepatan aliran bukan fungsi dari waktu. Kecepatan pada suatu titik dalam ruang tidak bervariasi terhadap waktu. $dV/dt = 0$. Sedangkan aliran unsteady bergantung pada waktu komponen medan kecepatannya $dV/dt \neq 0$.

Pada beberapa situasi karakter aliran unsteady agak random (acak). Perilaku ini terjadi dalam aliran turbulen.

STREAMLINES, STREAKLINES DAN PATHLINES

Walaupun gerakan fluida rumit, terdapat beberapa konsep yang dapat digunakan untuk membantu dalam visualisasi dan analisis medan aliran, yaitu Streamlines, Streaklines dan Pathlines.

Garis Arus (*Streamlines*) merupakan sebuah garis yang menyinggung medan vektor kecepatan. Pada aliran steady di mana medan kecepatan tidak berubah terhadap waktu, maka garis arus merupakan garis-garis yang tetap (*fixed*) dalam ruang. Sedangkan untuk aliran unsteady garis arus dapat berubah terhadap waktu. Garis arus dapat diperoleh secara analitik dengan mengintegrasikan persamaan garis yang menyinggung medan kecepatan. Untuk aliran dua dimensi kemiringan garis arus dy/dx , dimana

$$\frac{dy}{dx} = \frac{u}{v}$$

Jika medan kecepatan diketahui sebagai fungsi dari x dan y (dan t jika aliran unsteady), persamaan di atas dapat diintegrasikan untuk memberikan persamaan garis arus.

Contoh :

Tentukan garis arus untuk aliran steady dua dimensi dari medan kecepatan berikut ini :

$$\vec{V} = \left(\frac{V_0}{l}\right)(x\hat{i} - y\hat{j})$$

Penyelesaian

Karena $u = (V_0/l)x$ dan $v = -(V_0/l)y$ maka, dengan memisahkan variabel persamaan di atas, maka

$$\frac{dy}{dx} = \frac{u}{v} = -\frac{y}{x}$$

$$\frac{dy}{y} = -\frac{dx}{x}$$

Integrasi persamaan di atas,

$$\int \frac{dy}{y} = - \int \frac{dx}{x}$$

atau

$$\ln y = - \ln x + C$$

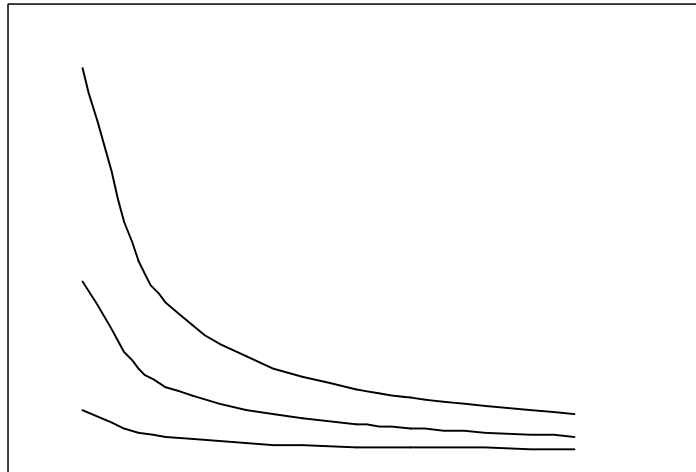
Untuk sepanjang garis arus,

$$xy = C, \text{ di mana } C \text{ adalah konstanta}$$

Dengan menggunakan berbagai harga C, dapat di-plot berbagai garis arus pada bidang x-y. Notasi garis arus biasanya adalah ψ . di mana $\psi = \text{Konstan}$ pada suatu garis arus. Dengan demikian persamaan garis arus untuk kasus di atas dapat ditulis sebagai berikut

$$\psi = xy$$

fungsi $\psi = \psi(x,y)$ disebut juga fungsi garis arus (*stream function*).



Streaklines terdiri atas semua partikel dalam suatu aliran yang melewati suatu titik. Streaklines dapat diperoleh dengan cara mengambil gambar (foto) sesaat dari partikel yang melalui lokasi tertentu dalam medan aliran. Streakline dapat dihasilkan dengan cara secara kontinyu menginjeksikan suatu fluida berwarna dalam suatu medan aliran (asap dalam udara atau tinta dalam air).

Pathlines adalah jejak garis partikel yang mengalir dari satu titik ke titik lainnya.

Soal :

1. Komponen kecepatan dalam arah sumbu x dan y aliran dua dimensi adalah $u = 6y$ (m/s) dan $v = 3$ (m/s) dimana y dalam meter. Tentukan persamaan garis arus dan gambarkan garis arus tersebut.
2. Komponen kecepatan x dan y suatu medan aliran adalah, $u = x^2y$ dan $v = -xy^2$. Tentukan persamaan garis arus aliran ini.

5

**ANALISIS
VOLUME ATUR**

SISTEM (MASSA ATUR) DAN VOLUME ATUR

Fluida adalah suatu zat yang relatif bebas bergerak dan berinteraksi dengan sekelilingnya. Analisis fluida dapat didekati dengan sistem (massa atur) dan volume atur.

Sistem (massa atur) adalah suatu zat (fluida) teridentifikasi yang diam atau mengalir dan berinteraksi dengan sekelilingnya, misalnya air dalam tangki yang diam atau bergerak. Volume atur dapat berupa sebuah volume (tidak bergantung pada massa) yang dilalui oleh aliran fluida, misalnya saluran yang dialiri air, air yang masuk dan keluar pompa atau turbin.

TEOREMA TRANSPORT REYNOLDS

Kadang-kadang yang menjadi perhatian dalam analisis aliran fluida adalah apa yang terjadi pada partikel fluida yang bergerak atau apa pengaruhnya pada obyek lain atau volume yang berinteraksi dengan fluida. Dengan demikian diperlukan hukum/persamaan untuk aliran fluida yang menggunakan konsep sistem (massa atur) jika mengkaji massa fluida tertentu dan volume atur jika mengkaji suatu volume. Alat analitik tersebut adalah Teorema Transport Reynolds.

$$\frac{dB}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho b dV + \int_{cs} \rho b \vec{V} \cdot \hat{n} dA \quad (1)$$

dimana : B = sifat ekstensif sistem (massa, momentum, energi)
 b = B/m (sifat intensif sistem, B = m maka b = 1, B = mV maka b = V)

Ruas kiri dari persamaan (1) menunjukkan laju perubahan sembarang sifat ekstensif sistem (massa, momentum, energi, atau momentum angular). Suku pertama ruas kanan persamaan (1) menunjukkan laju perubahan sifat ekstensif (B) dalam volume atur. Suku kedua ruas kanan persamaan (1) menunjukkan aliran netto sifat ekstensif (B) keluar masuk permukaan atur. Jika terdapat aliran keluar permukaan atur maka $\vec{V} \cdot \hat{n} > 0$ (positif), sedangkan aliran masuk permukaan atur maka $\vec{V} \cdot \hat{n} < 0$ (negatif)

PERSAMAAN KONTINUITAS

$$\frac{dM}{dt} = \int_{sys} \rho dV = 0 \quad (2)$$

$$\frac{dM}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho \vec{V} \cdot \hat{n} dA = 0 \quad (3)$$

Ruas kiri : Laju perubahan massa sistem
Suku (1) ruas kanan : Laju perubahan kandungan massa dalam volume atur
Suku (2) ruas kanan : Laju aliran netto dari massa keluar masuk permukaan atur

Laju aliran massa,

$$\dot{M} = \rho Q = \rho VA \quad (4)$$

Contoh:

Air mengalir secara steady melalui nosel yang dihubungkan oleh saluran ke pompa. Jika kecepatan air keluar nosel 20 m/s dan diameter nosel 40 mm tentukan kapasitas pompa yang dibutuhkan.

Contoh:

Campuran uap air dan udara kering (udara) memasuki dehumidifier pada laju 5 kg/s. Cairan air keluar dari dehumidifier pada 0.75 kg/s. Tentukan laju aliran massa udara meninggalkan dehumidifier.

Contoh:

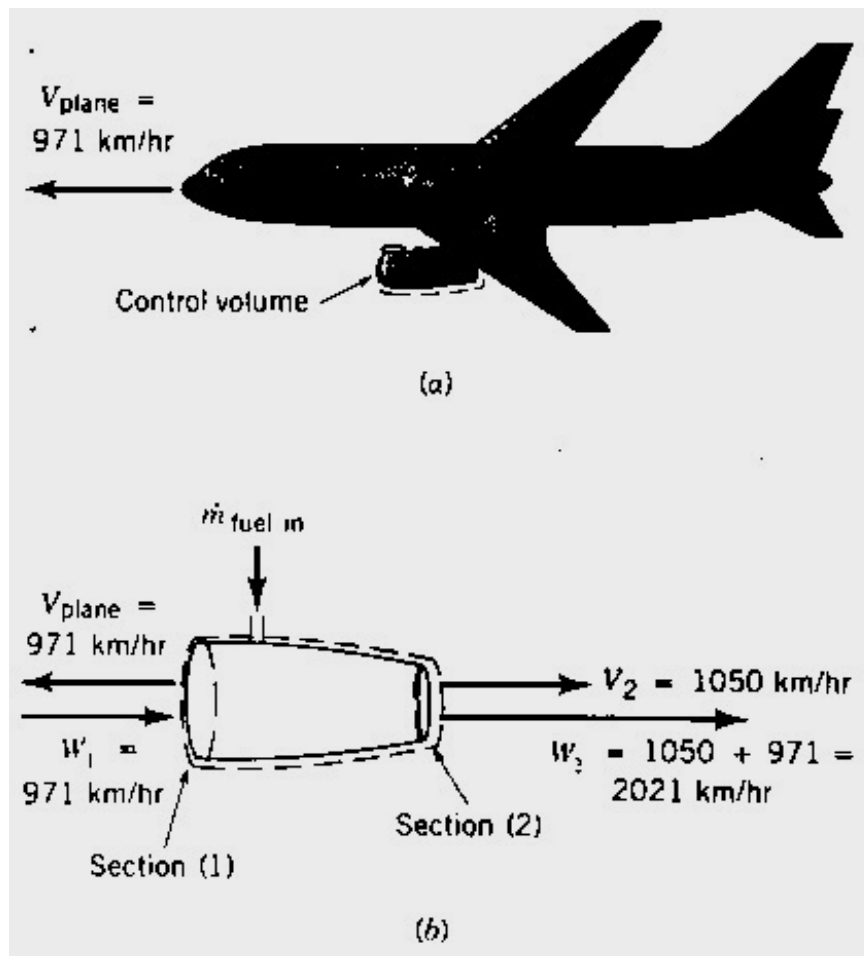
Bak mandi berukuran 0.6 x 0.6 x 1.5 m (tinggi 1.5 m) diisi oleh air dari sebuah keran. Laju aliran air dari keran 5 liter/min (steady). Tentukan laju perubahan ketinggian permukaan air.

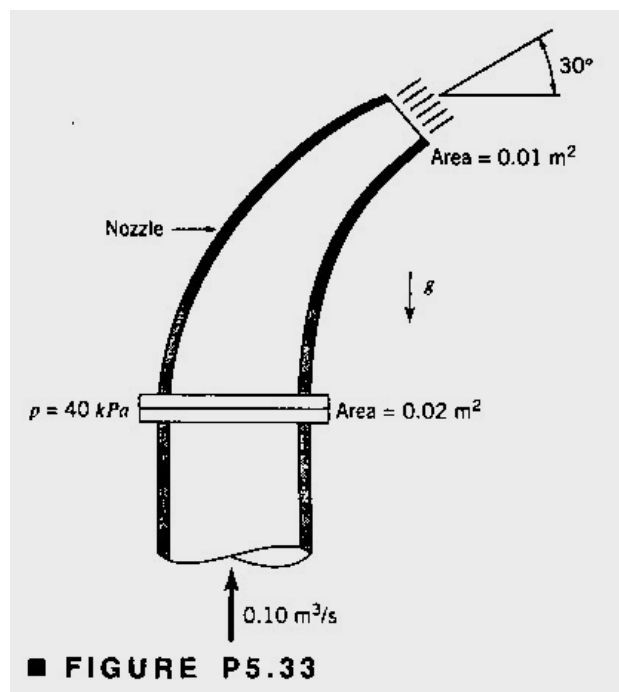
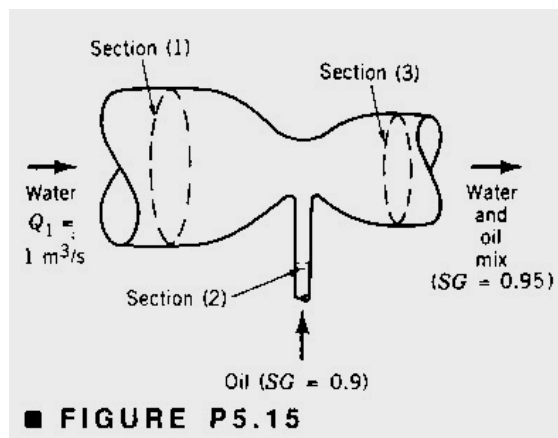
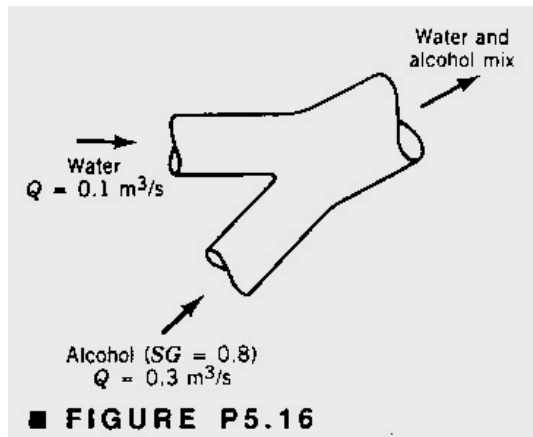
Contoh:

Air mengalir secara steady melalui pipa berdiameter 2 in pada 200 gal/min. Pipa tersebut mempunyai cabang dua dan diameter salah satu cabangnya adalah 1 in. Jika kecepatan rata-rata air dalam pipa berdiameter 1 in adalah 30 ft/s tentukan kecepatan rata-rata pada cabang pipa lainnya.

Contoh:

Air pada 0.1 m³/s dan alkohol (s.g = 0.8) pada 0.3 m³/s dicampur dalam saluran berbentuk Y. Tentukan kerapatan rata-rata campuran alkohol dan air !





PERSAMAAN MOMENTUM LINIER

$$\sum F = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \vec{V} \rho dV + \int_{cs} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot \hat{n} dA \quad (5)$$

- Ruas kiri : Resultan gaya luar yang bekerja pada volume atur
Suku (1) ruas kanan : Laju perubahan kandungan momentum linier dalam volume atur
Suku (2) ruas kanan : Laju aliran netto momentum linier keluar masuk permukaan atur.

Beberapa catatan penting dalam menggunakan persamaan kontinuitas dan momentum linier :

1. Dengan menganggap distribusi aliran seragam terdistribusi pada penampang permukaan atur, maka penyelesaian integral menjadi lebih sederhana. (Aliran satu dimensi).
2. Aliran momentum linier masuk permukaan atur negatif sedangkan keluar permukaan atur positif.
3. Untuk aliran steady, Laju perubahan kandungan massa dalam volume atur atau laju perubahan kandungan momentum linier dalam volume atur adalah nol.
4. Gaya yang ditimbulkan oleh tekanan atmosfer pada permukaan atur tidak perlu diperhitungkan (tekanan yang digunakan tekanan gage).

Contoh:

Tentukan gaya yang harus diberikan untuk menahan nosel sebuah keran (katup) yang mengalirkan air sebanyak 0.6 liter/s ke atmosfer dari sebuah saluran. Diketahui bahwa nosel terpasang secara vertikal, massa nosel adalah 1 kg, diameter saluran masuk dan keluar nosel adalah 16 mm dan 5 mm, jarak antara sisi masuk (1) dan keluar (2) adalah 30 mm, dan tekanan sisi masuk nosel 464 kPa.

Contoh:

Tentukan besar dan arah gaya untuk menahan elbow 180° yang diletakan pada bidang horizontal. Diketahui bahwa diameter elbow 1 in, kecepatan fluida (air) dalam elbow 5ft/s, dan beda tekanan antara sisi masuk dan keluar adalah 15 kPa.

Contoh:

Sebuah rocket ditahan oleh gaya horizontal F_x dan gaya vertikal F_y . Kecepatan dan tekanan gas pada keluaran nosel roket adalah 5000 ft/s dan 20 Psia. Jika laju aliran massa gas konstan sebesar 21 lbm/s dan penampang nosel 60 in² tentukan besar gaya F_x . (Anggap aliran gas keluar nosel horizontal)

VOLUME ATUR YANG BERGERAK

Teorema Transport Reynolds untuk sistem/volume atur yang bergerak dengan kecepatan konstan,

$$\frac{dB}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho b dV + \int_{cs} \rho b \vec{V}_r \cdot \hat{n} dA \quad (6)$$

Perbedaannya dengan volume atur yang tidak bergerak (diam) adalah kecepatan fluida yang di amati bukan kecepatan absolut tetapi kecepatan relatif fluida terhadap volume atur yang bergerak dengan kecepatan konstan.

Kekekalan massa untuk volume atur yang bergerak,

$$\frac{dM}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho \vec{V}_r \cdot \hat{n} dA \quad (7)$$

Momen momentum untuk volume atur yang bergerak (aliran steady)

$$\sum F = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \vec{V}_r \rho dV + \int_{cs} \vec{V}_r \rho \vec{V}_r \cdot \hat{n} dA \quad (8)$$

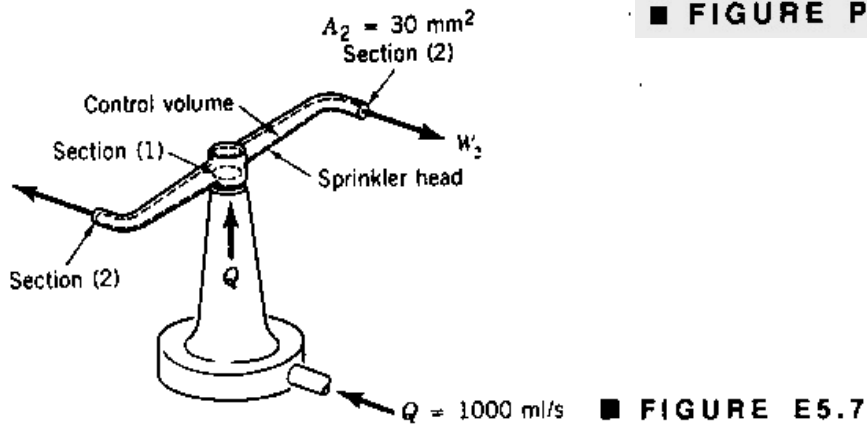
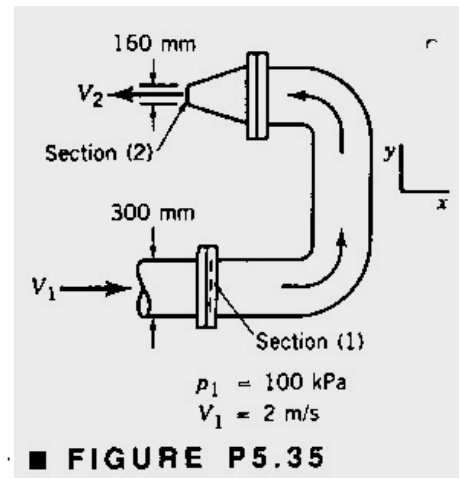
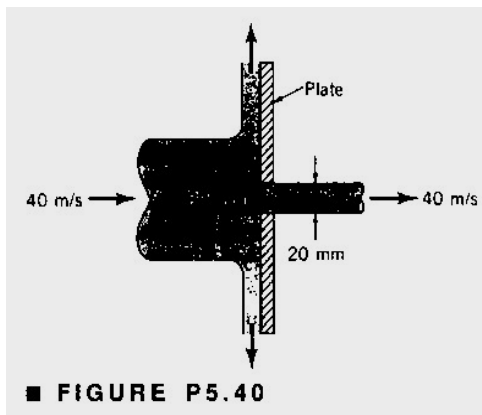
dimana V_r = kecepatan fluida relatif terhadap volume atur.

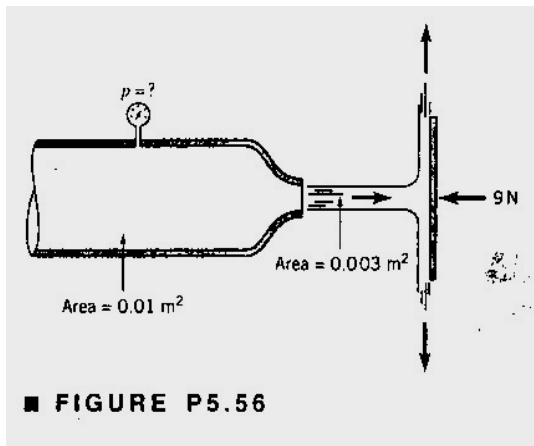
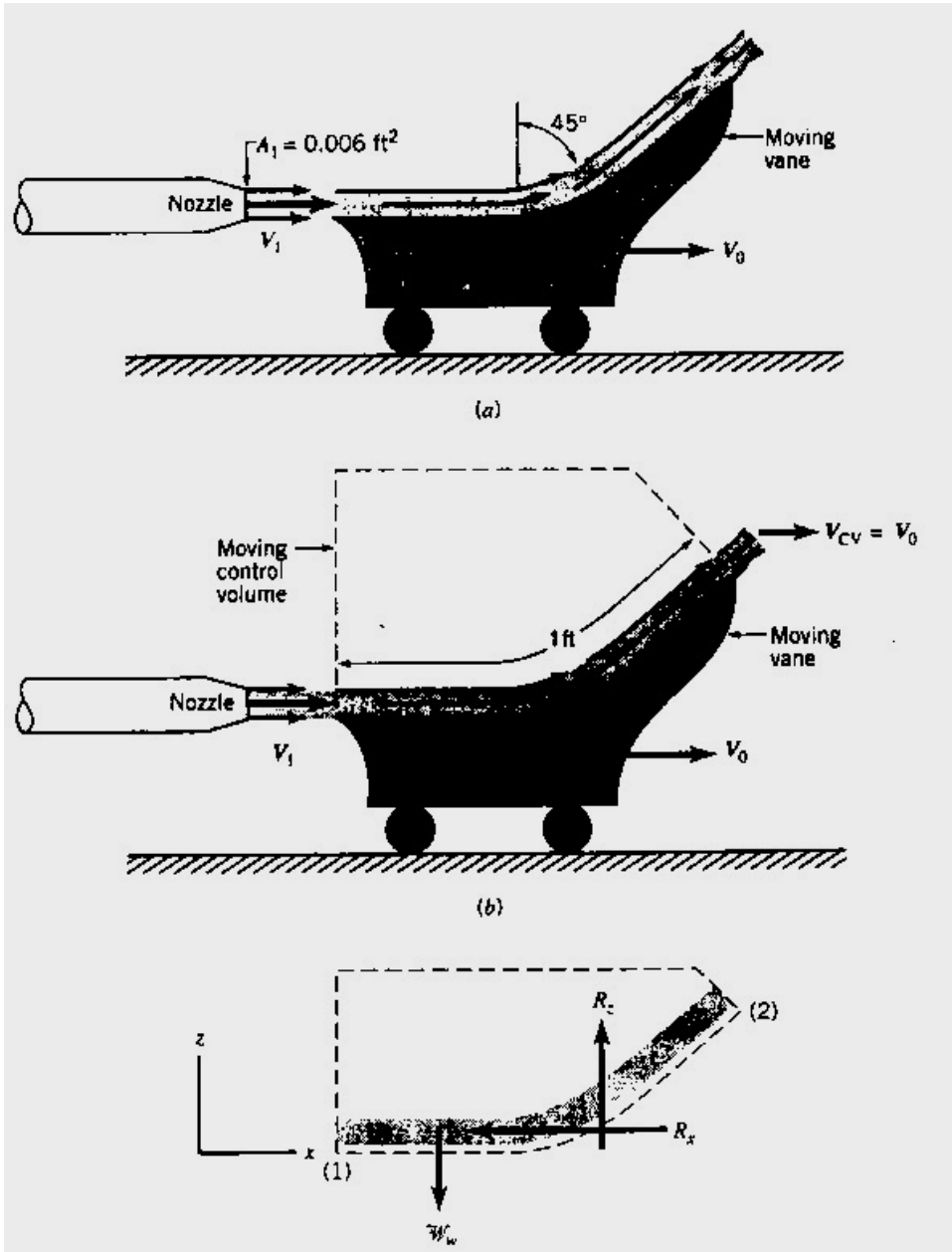
Contoh:

Pesawat terbang bergerak pada kecepatan 500 mph, Sudut sayap pesawat (sudut serang) terhadap aliran udara adalah 10° . Tentukan laju aliran udara di sekitar sayap untuk menghasilkan perubahan momentum yang ekuivalen dengan gaya reaksi vertikal besar 5000 lb. Jika panjang sayap 30 ft dan kerapatan udara 10^{-3} slugs/ft³. Tentukan pula tinggi arus udara yang datang untuk menghasilkan efek gaya tersebut.

Contoh:

Air keluar dari semprotan (horizontal) berdiameter 3 in dan mengenai sebuah plat datar (vertikal). Tentukan kecepatan air keluar semprotan jika plat ditahan dengan gaya horizontal sebesar 10 lb agar plat diam dan jika plat diperbolehkan bergerak pada kecepatan konstan sebesar 10 ft/s.





MOMEN MOMENTUM

Torsi adalah momen dari sebuah gaya terhadap suatu sumbu. Persamaan momen momentum untuk volume atur yang diam,

$$\sum(\vec{r} \times \vec{F}) = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} (\vec{r} \times \vec{V}) \rho dV + \int_{cs} (\vec{r} \times \vec{V}) \rho \vec{V} \cdot \hat{n} dA \quad (9)$$

Ruas kiri : Resultan torsi dari luar yang bekerja pada volume atur
 Suku (1) ruas kanan : Laju perubahan kandungan momen momentum dalam volume atur
 Suku (2) ruas kanan : Laju aliran netto momen momentum keluar masuk permukaan atur.

Beberapa asumsi untuk persamaan (9) :

1. Aliran satu dimensi (terdistribusi seragam pada penampang aliran)
2. Jika aliran steady maka suku (1) ruas kanan sama dengan nol
3. Hanya mengamati komponen-komponen bekerja terhadap sumbu putaran.

Untuk aliran steady inkompresibel,

$$\vec{T}_{shaft} = \int_{cs} (\vec{r} \times \vec{V}) \rho \vec{V} \cdot \hat{n} dA \quad (10)$$

Pada persamaan (10), perkalian antara *cross product* dan *dot product* dapat menghasilkan harga positif atau negatif.

- Untuk aliran masuk volume atur, maka $\mathbf{V} \cdot \mathbf{n}$ adalah negatif.
- Untuk aliran keluar volume atur, maka $\mathbf{V} \cdot \mathbf{n}$ adalah positif.
- Tanda positif atau negatif dari perkalian $\mathbf{r} \times \mathbf{V}$ mengikuti aturan tangan kanan. Pusat putaran adalah jari jempol yang diacungkan dan jari lainnya dilipat. Arah positif berlawanan dengan arah putaran jarum jam.

Contoh:

Air masuk sprinkler dari arah dasarnya (arah bawah) secara steady pada laju 1000 ml/s. Permukaan dua keluaran nosel 30 mm². Dan aliran meninggalkan nosel dalam arah tangensial. Jika radius dari sumbu putar dan pusat nosel adalah 200 mm,

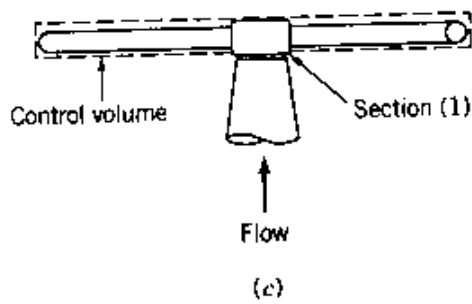
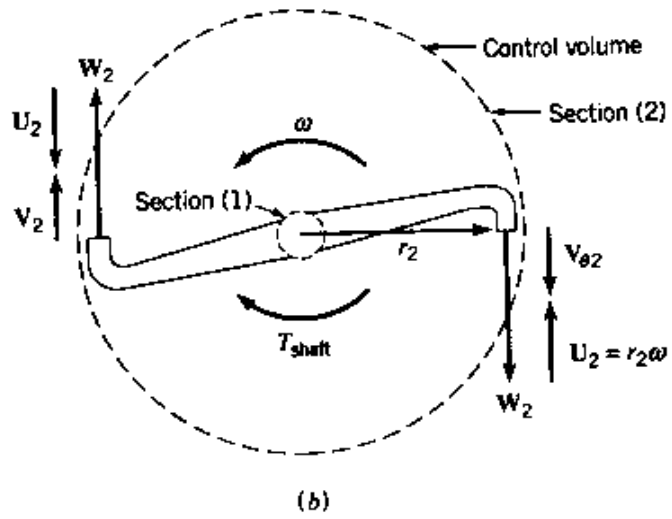
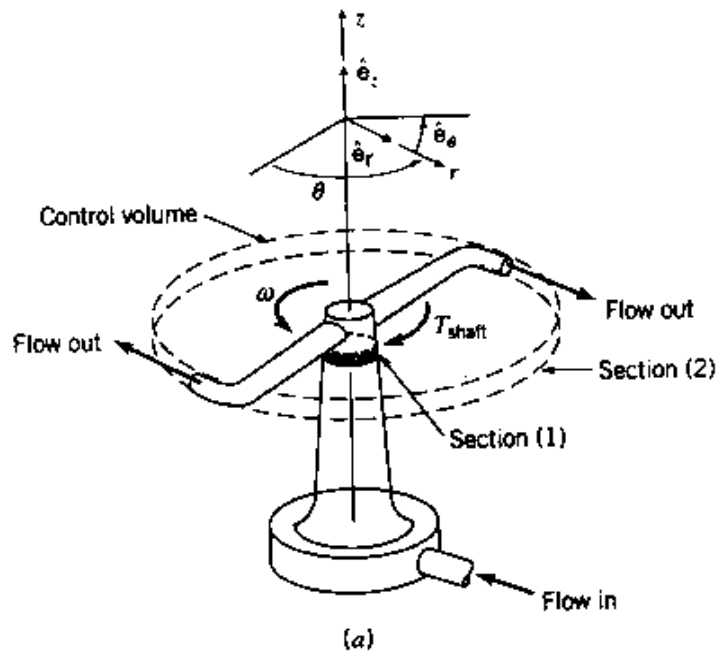
- a. Tentukan torsi yang diperlukan untuk menahan sprinkler agar tetap diam
- b. Tentukan torsi yang jika sprinkler berputar pada putaran konstan 500 rpm
- c. Tentukan putaran sprinkler jika tidak ada tahanan torsi

DAYA POROS

Persamaan momen momentum yang lebih umum untuk aliran steady satu dimensi melalui mesin-mesin turbo adalah

$$T_{shaft} = (-\dot{m}_{in})(\pm r_{in} V_{\theta in}) + \dot{m}_{out} (\pm r_{out} V_{\theta out}) \quad (11)$$

Tanda (-) digunakan untuk laju aliran massa masuk, m_1 dan tanda (+) digunakan untuk aliran massa keluar, m_2 . Tanda (+) atau (-) yang digunakan untuk perkalian $r V_t$ bergantung pada arah $(\mathbf{r} \times \mathbf{V})_{poros}$. Jika V_t dan U mempunyai arah yang sama, maka perkalian $r V_t$ adalah positif, dan jika V_t berlawanan arah dengan U maka perkalian $r V_t$ adalah negatif. Tanda T_{poros} adalah positif jika searah dengan putaran ω , dan negatif jika berlawanan arah dengan arah putaran ω .



■
S
V

Daya poros didefinisikan sebagai

$$\dot{W}_{shaft} = -(\dot{m}_{in})(\pm U_{in} V_{\theta in}) + \dot{m}_{out} (\pm U_{out} V_{\theta out}) \quad (12)$$

Daya poros persatuan laju aliran massa,

$$w_{shaft} = -(\pm U_{in} V_{\theta in}) + (\pm U_{out} V_{\theta out}) \quad (13)$$

Contoh:

Sebuah fan mempunyai rotor berdiameter luar 12 in dan diameter dalam 10 in. Tinggi/tebal setiap sudu pada rotor adalah 1 in. Laju aliran udara secara steady pada 230 cfm dan masuk sudu secara radial dengan kecepatan V_1 . Sudut sudu keluar sebesar 30° dari arah tangensial. Jika rotor berputar pada putaran konstan sebesar 1725 rpm, tentukan daya yang diperlukan untuk mengoperasikan fan tersebut.

Contoh:

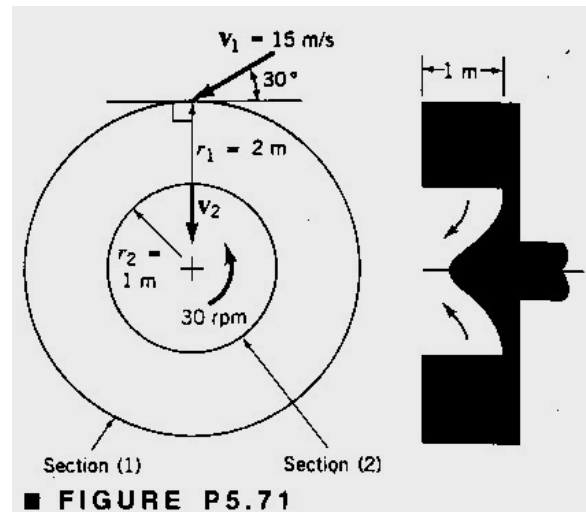
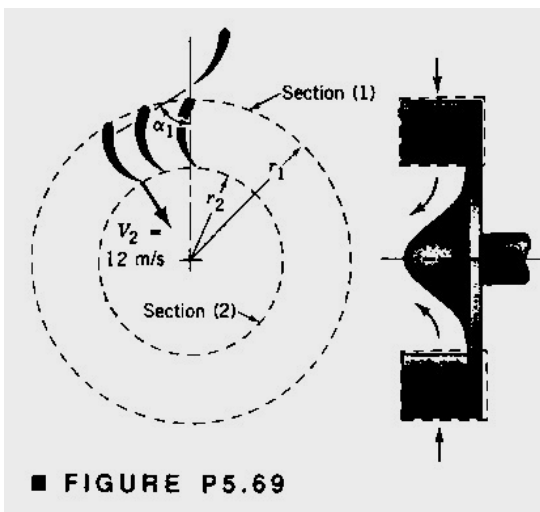
Turbin digunakan untuk menggerakkan mesin bor putaran tinggi. Udara keluar dari nosel kemudian mengenai sudu turbin. Jari-jari luar turbin 0.168 in, jari-jari dalam 0.133 in, putaran turbin 300000 rpm dan kecepatan tangensial udara keluar nosel 2U dan kecepatan tangensial absolut fluida keluar rotor 0. Tentukan kerja poros persatuan laju aliran massa.

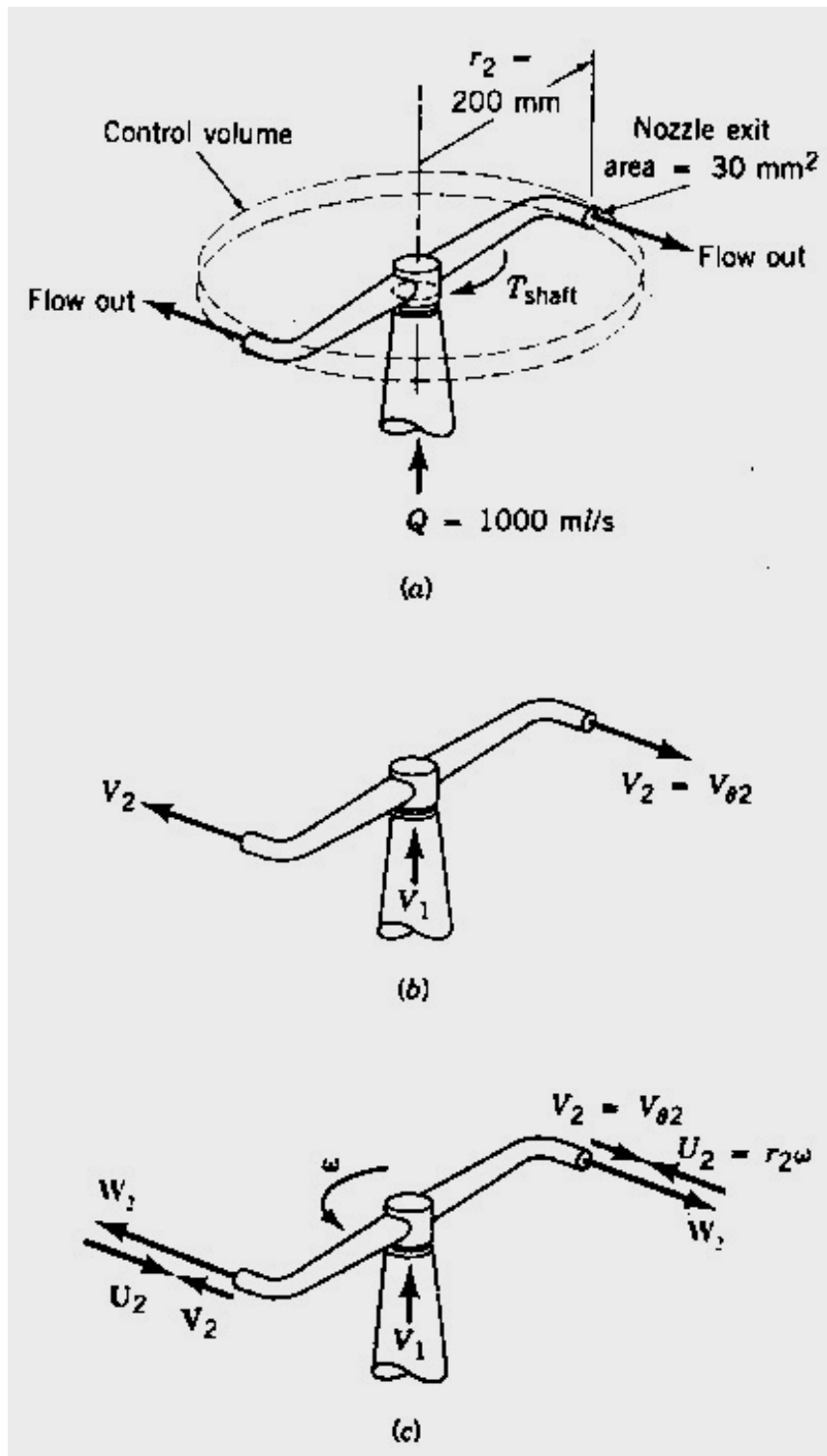
Contoh;

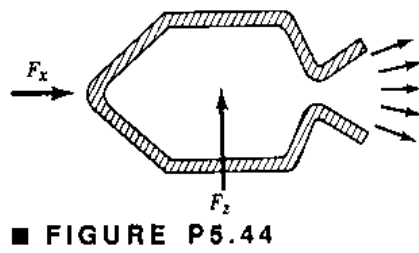
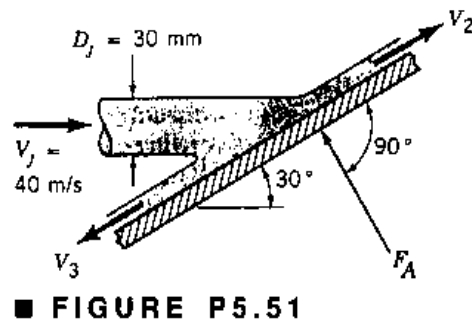
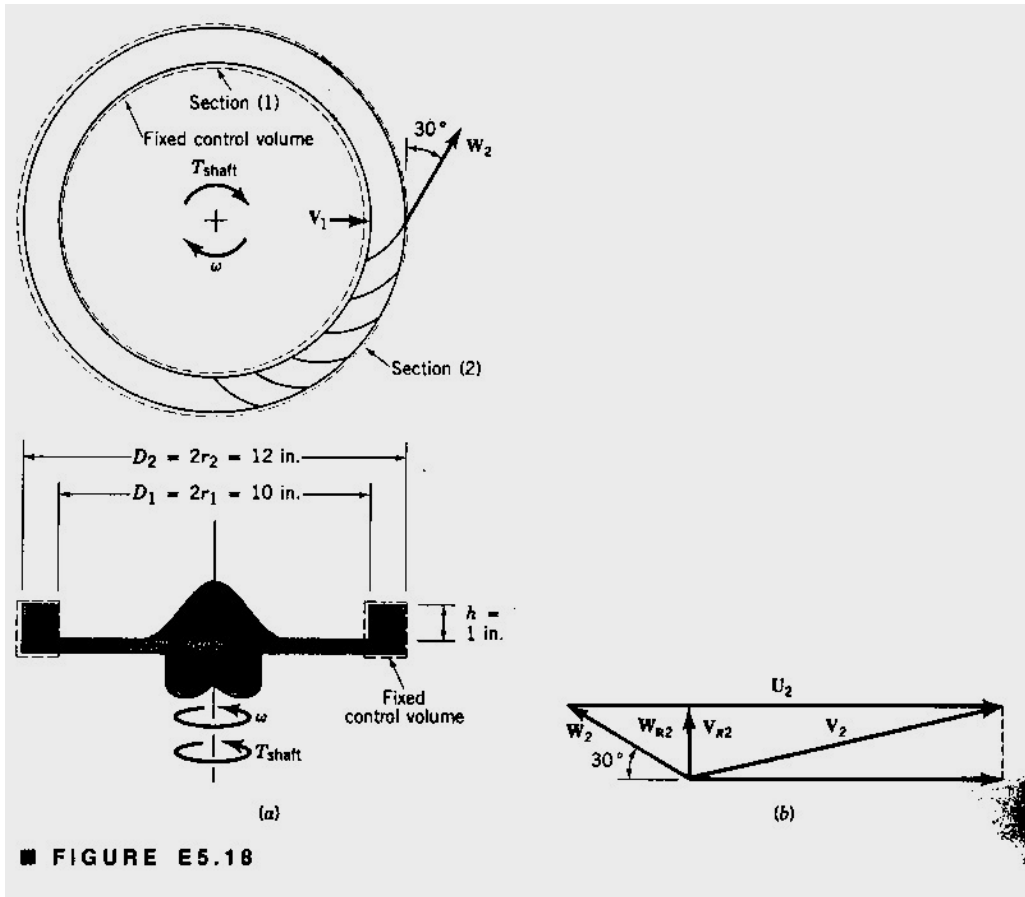
Turbin aliran radial dengan sudut nosel masuk sudu turbin sebesar 60° dan kecepatan puncak rotor sebesar 3 m/s. Rasio diameter rotor masuk dan keluar sebesar 2.0. Kecepatan absolut fluida meninggalkan rotor secara radial adalah 6 m/s. Tentukan besar energi yang dipindahkan persatuan laju aliran massa jika fluida yang mengalir adalah udara dan air.

Contoh:

Sebuah pompa mengalirkan air sebesar 200 liter/s. Pompa mempunyai sudut sudu keluar sebesar 35° terhadap arah tangensial. Tentukan daya yang diperlukan pompa jika aliran air masuk sudu secara radial, jari-jari dalam 9 cm, jari-jari luar 15 cm, putaran pompa 1500 rpm dan lebar sudu adalah 3 cm.







PERSAMAAN ENERGI

Persamaan energi,

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho e dV + \int_{cs} \rho e \vec{V} \cdot \hat{n} dA \quad (14)$$

dimana,

$$\frac{dE}{dt} = (Q_{net\ in} + W_{net\ in})_{cv} \quad (15)$$

Jika aliran steady dan tidak ada perpindahan energi panas dalam sistem (kerugian energi diabaikan), persamaan energi menjadi

$$\begin{aligned} \int_{cs} \rho e \vec{V} \cdot \hat{n} dA &= \dot{W}_{net} \\ -\dot{m}_{in} e_{in} + \dot{m}_{out} e_{out} &= \dot{W}_{net} \end{aligned} \quad (16)$$

padahal,

$$e = u + pv + \frac{1}{2}V^2$$

Jadi persamaan energi aliran fluida tanpa perpindahan panas yang terjadi dalam sistem adalah

$$\frac{p_m}{\gamma} + \frac{V_m^2}{2g} + z_m = \frac{p_k}{\gamma} + \frac{V_k^2}{2g} + z_k + h_{msn} \quad (17)$$

dimana, h_{msn} adalah head mesin.

Untuk pompa $h_{mesin} = -h_{pompa}$ sedangkan untuk turbin $h_{mesin} = h_{turbin}$. Jika tidak ada mesin (turbin atau pompa), maka persamaan energi menjadi,

$$\frac{p_m}{\gamma} + \frac{V_m^2}{2g} + z_m = \frac{p_k}{\gamma} + \frac{V_k^2}{2g} + z_k \quad (18)$$

Apabila kerugian energi diperhitungkan, maka persamaan energi menjadi

$$\frac{p_m}{\gamma} + \frac{V_m^2}{2g} + z_m = \frac{p_k}{\gamma} + \frac{V_k^2}{2g} + z_k + h_{loss} \quad (19)$$

dan jika ada mesin (pompa atau turbin), maka persamaan energi menjadi

$$\frac{p_m}{\gamma} + \frac{V_m^2}{2g} + z_m = \frac{p_k}{\gamma} + \frac{V_k^2}{2g} + z_k + h_{msn} + h_{loss} \quad (20)$$

Contoh:

Sebuah pompa digunakan untuk mengalirkan air sebanyak 300 gal/min melalui pipa berdiameter 3.5 in untuk sisi masuk pompa dan 1 in untuk pipa di sisi keluar pompa. Jika tekanan isap dan keluar pompa adalah 18 Psi dan 60 Psi tentukan daya pompa yang diperlukan (beda ketinggian antara sisi masuk dan keluar pompa serta berbagai diabaikan)

Contoh:

Beda ketinggian permukaan air dua buah danau adalah 50 m. Air dialirkan dari danau tertinggi ke danau terendah melalui sistem pemipaan dan turbin untuk menghasilkan daya pada laju 1000 lt/s. Jika berbagai kerugian diabaikan tentukan besar daya turbin yang dihasilkan.

Contoh:

Sebuah fan aksial untuk ventilasi digerakan oleh motor dengan daya 400 Watt menghasilkan kecepatan udara sebesar 12 m/s dalam saluran berdiamater 0.6 m. Tentukan efisiensi fan tersebut.

Contoh:

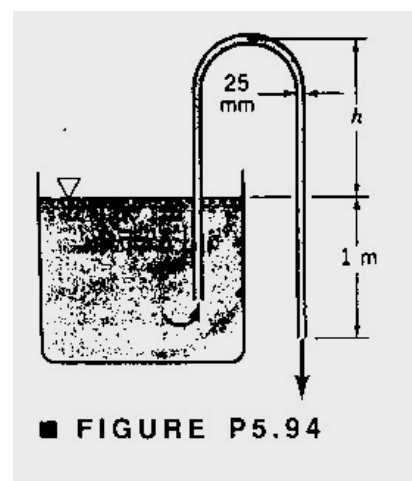
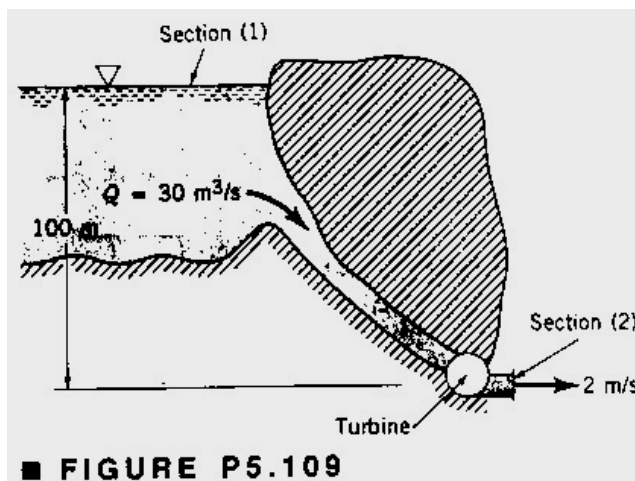
Sebuah siphon digunakan untuk mengambil air pada 20° dari sebuah reservoir. Diameter dalam siphon sebesar 1 in, tinggi puncak siphon 4 ft, bagian siphon masuk ke dalam air sedalam 4 ft, dan ujung siphon lainnya berada 4 ft di bawah ujung siphon yang tercelup ke dalam air. Jika gesekan dalam siphon sebesar $0.6 V^2/2$ tentukan besaraju aliran air.

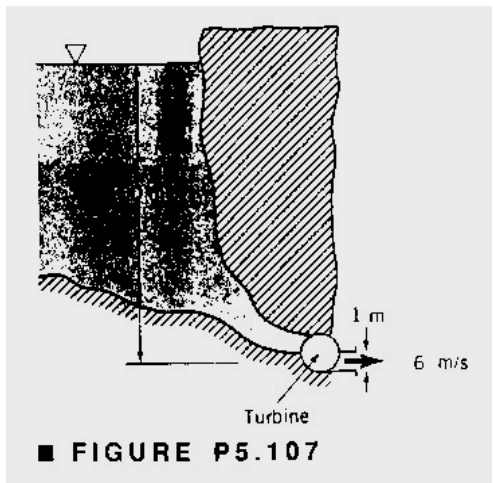
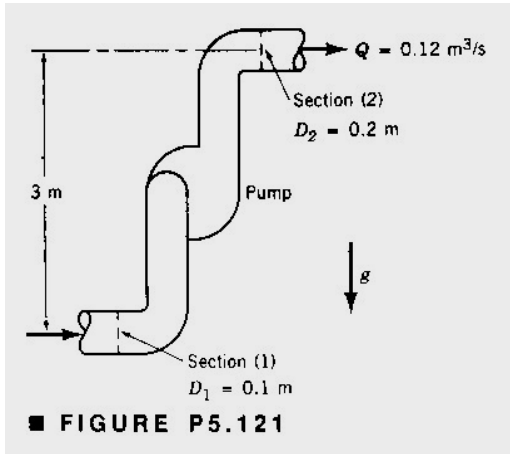
Contoh:

Air mengalir secara steady dari satu lokasi ke lokasi lainnya dalam pipa miring. Pada satu seksi tekanan statik sebesar 8 Psi sedangkan pada seksi yang lain 5 Psi. Jarak secara horizaontal antara satu seksi dengan seksi lainnya adalah 100 ft dan seksi yang bertekanan 5 Psi berada 10 ft di atas seksi yang bertekanan 8 Psi. Kemana arah aliran fluida dalam pipa miring tersebut.

Contoh:

Sebuah motor listrik sebesar 3/4 hp digunakan untuk menggerakkan fan yang dipasang pada saluran berdiameter 24 in dan menghasilkan kecepatan udara seragam sebesar 40 ft/s. Tentukan efisiensi fan tersebut.





6

ANALISIS DIFFERENSIAL ALIRAN FLUIDA

ANALISIS DIFERENSIAL ALIRAN FLUIDA

Membahas gerakan fluida secara rinci.

Medan aliran fluida dapat dibagi menjadi dua daerah yaitu

- Daerah dekat batas sistem/permukaan dimana efek viskos sangat penting, dan
- Daerah yang jauh dari batas sistem/permukaan di mana efek viskos dapat diabaikan.

Masalah-masalah aliran yang dekat dengan permukaan (lapisan batas) sangat sulit namun dapat diselesaikan dengan analisis differensial. Dengan bantuan metoda numerik dan memanfaatkan bantuan komputer digital (*Computer Fluid Dynamics, CFD*), masalah aliran viskos yang kompleks dapat dengan mudah diselesaikan.

GERAKAN ELEMEN FLUIDA

Gerakan elemen fluida dapat dibagi menjadi :

- Translasi
- Deformasi Linier
- Rotasi
- Deformasi Angular

Translasi

Jika semua titik dalam elemen fluida mempunyai kecepatan yang sama (jika tidak ada gradien kecepatan), maka elemen fluida dikatakan berpindah posisi (translasi) dari satu titik ke titik lainnya.

Deformasi Linier

Jika terdapat gradien kecepatan dalam elemen fluida, elemen akan terdeformasi, karena beda kecepatan dapat menyebabkan volume elemen tertarik (*stretching*).

Rotasi dan Deformasi Angular

Rotasi didefinisikan sebagai kecepatan sudut rata-rata dua garis yang saling tegak lurus dalam elemen fluida.

$$\vec{\omega} = \omega_x \hat{i} + \omega_y \hat{j} + \omega_z \hat{k} \quad (1)$$

$$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

$$\omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad (2)$$

$$\omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

Suatu medan aliran dengan $\omega = 0$ maka medan alirannya disebut juga meda aliran irrotasional, sedangkan medan aliran yang ω tidak sama dengan 0, maka alirannya disebut medan aliran rotasional.

Contoh :

Medan aliran dua dimensi dengan medan kecepatan

$$\vec{V} = 4xy\hat{i} + 2(x^2 - y^2)\hat{j}$$

Apakah alirannya irrotasional ?

Penyelesaian

Komponen kecepatan medan aliran adalah

$$u = 4xy, \quad v = 2(x^2 - y^2), \quad \text{dan } w = 0$$

Dari persamaan (2),

$$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) = 0$$

$$\omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) = 0$$

$$\omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \frac{1}{2} (4x - 4x) = 0$$

Dengan demikian, $\omega = 0$ jadi aliran di atas adalah aliran irrotasional.

KEKEKALAN MASSA

Persamaan differensial kekekalan massa untuk koordinat kartesian adalah

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

Untuk kasus aliran steady kompresibel,

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

Untuk kasus aliran steady inkompresibel,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

Contoh :

Komponen kecepatan aliran steady inkompresibel adalah

$$\begin{aligned} u &= x^2 + y^2 + z^2 \\ v &= xy + yz + z \\ w &= ? \end{aligned}$$

Penyelesaian

Persamaan Kekekalan Massa,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Dari komponen kecepatan didapat

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 2x$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = x + z$$

sehingga

$$\frac{\partial w}{\partial z} = -2x - (x + z) = -3x - z$$

Integrasi terhadap z,

$$\int \partial w = -\int (3x + z) \partial z$$

$$w = -3xz - \frac{1}{2}z^2 + f(x, y)$$

KOORDINAT POLAR KARTESIAN

Bentuk differensial persamaan kontinuitas dalam koordinat silindris adalah

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r\rho v_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho v_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

Untuk aliran steady inkompresibel,

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(r\rho v_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho v_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

Untuk fluida inkompresibel,

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(rv_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (8)$$

FUNGSI GARIS ARUS (STREAM FUNCTION)

Aliran dua dimensi, inkompresibel, steady merupakan salah satu jenis aliran sederhana yang sangat penting. Pada aliran dua dimensi ada dua komponen kecepatan, yaitu u dan v. Untuk aliran ini, persamaan kontinuitasnya adalah

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (9)$$

Dua variabel u dan v harus berhubungan agar persamaan kontinuitas dipenuhi. Misalkan didefinisikan sebuah fungsi, $\psi(x,y)$ yang disebut juga stream function, yang berhubungan dengan kecepatan-kecepatan berikut ini:

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad v = \frac{\partial \psi}{\partial x}$$

Garis arus (stream line) adalah garis-garis dalam medan aliran yang menyinggung vektor kecepatan. Kemiringan atau sudut pada berbagai titik sepanjang garis arus adalah

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v}{u}$$

Perubahan harga ψ dari titik (x,y) ke titik terdekat $(x+dx,y+dy)$ memberikan hubungan:

$$d\psi = \frac{\partial\psi}{\partial x} dx + \frac{\partial\psi}{\partial y} dy$$

$$\partial\psi = -v dx + u dy$$

sepanjang garis ψ konstan, $d\psi = 0$, sehingga diperoleh:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v}{u}$$

Persamaan di atas persamaan yang mendefinisikan garis arus. Jika fungsi $\psi(x,y)$ diketahui maka garis-garis ψ konstan dan di-plot untuk memvisualisasikan alirannya.

Dalam koordinat silindris, persamaan kontinuitas untuk aliran inkompresibel dua dimensi adalah:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(rv_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} = 0$$

dan komponen kecepatan v_r dan v_θ dan dihubungkan dengan fungsi garis arus $\psi(r,\theta)$ sebagai berikut:

$$v_r = \frac{1}{r} \frac{\partial\psi}{\partial \theta} \quad v_\theta = -\frac{\partial\psi}{\partial r}$$

Contoh:

Komponen kecepatan aliran fluida inkompresibel, dua dimensi steady adalah

$$u = 2y$$

$$v = 4x$$

Tentukan hubungan fungsi garis arus dan gambarkan sketsa beberapa garis arus untuk menggambarkan alirannya.

Penyelesaian

Dari definis fungsi garis arus,

$$u = \frac{\partial\psi}{\partial y} = 2y \quad \text{dan} \quad v = -\frac{\partial\psi}{\partial x} = 4x$$

Integrasi fungsi pertama memberikan

$$\psi = y^2 + f_1(x)$$

Integrasi fungsi kedua,

$$\psi = -2x^2 + f_2(y)$$

Persamaan fungsi garis arus,

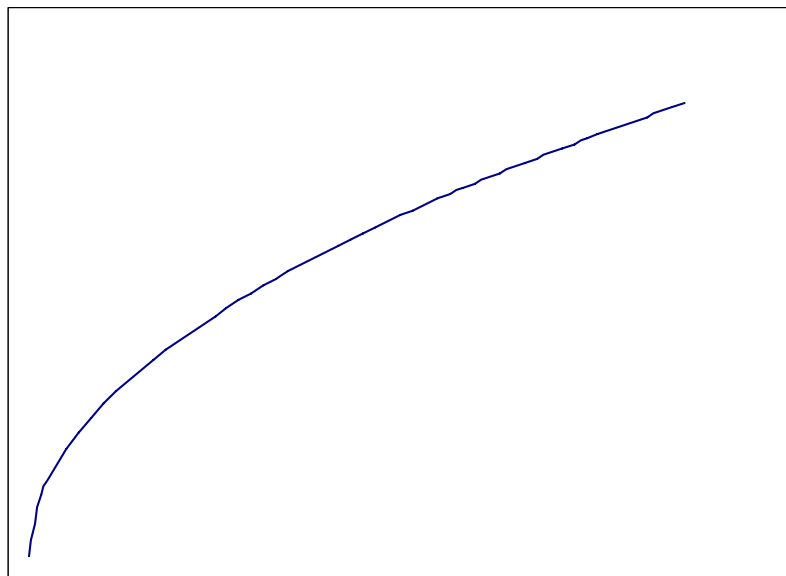
$$\psi = -2x^2 + y^2 + C$$

dimana C adalah konstanta. Biasanya untuk penyederhanaan, ditentukan $C = 0$, sehingga persamaan fungsi garis arus menjadi,

$$\psi = -2x^2 + y^2$$

Garis arus dapat ditentukan dengan menetapkan harga $\psi = \text{konstan}$ dan menggambarkan kurvanya. Jika $\psi = 0$, maka persamaan fungsi garis arus menjadi,

$$y = \pm \sqrt{2x}$$



KEKALKAN MOMENTUM LINIER (Persamaan Euler)

Persamaan momentum linier dapat diturunkan dari persamaan gerak Newton. Persamaan Newton untuk differensial massa $\delta m = \rho \delta x \delta y \delta z$,

$$\rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$
$$\rho g_y + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$
$$\rho g_z + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

Persamaan di atas adalah persamaan differensial untuk aliran fluida. Untuk aliran non-viskos (tanpa gesekan) semua tegangan geser adalah nol dan tegangan normal diganti dengan $-p$.

$$\rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} = \rho \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$
$$\rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} = \rho \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$
$$\rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

Soal :

1. Tiga komponen kecepatan dalam suatu medan aliran

$$u = x^2 + y^2 + z^2$$

$$v = xy + yz + z^2$$

$$w = -3xz - z^2/2 + 4$$

Tentukan vektor rotasinya dan apakah medan alirannya irrotasional ?

2. Medan aliran dua dimensi $V = (2x^2y + x) \mathbf{i} + (2xy^2 + y + 1) \mathbf{j}$ (m/s) di mana x dan y dalam meter. Tentukan rotasi elemen fluida pada $x = 0.5$ m dan $y = 1.0$ m.
3. Medan aliran aliran inkompresibel mempunyai komponen kecepatan sebagai berikut :

$$u = 2xy \quad v = -x^2y \quad w = 0$$

Apakah medan aliran di atas mungkin ? Jelaskan !

7

ANALISIS DIMESNIONAL, SIMILITUDE DAN PEMODELAN

ANALISIS DIMENSIONAL, SIMILITUDE DAN PEMODELAN

Analisis dimensi adalah analisis dengan menggunakan parameter dimensi untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam mekanika fluida yang tidak dapat diselesaikan menggunakan persamaan-persamaan dan prosedur analitik kecuali melalui eksperimen.

TEOREMA PI BUCKINGHAM

Sejumlah k variabel suatu persamaan yang homogen secara dimensional dapat direduksi menjadi hubungan antara perkalian $k - r$ variabel independen, di mana r adalah jumlah minimum dimensi dasar yang variabel. Perkalian tak berdimensi disebut **PI**. Dan Teoremanya disebut **Teorema PI Buckingham**. Untuk menyatakan perkalian tak berdimensi digunakan simbol Π .

Misalkan sembarang persamaan fisik melibatkan k variabel seperti berikut :

$$u_1 = f(u_2, u_3, \dots, u_k)$$

Dimensi variabel ruas kiri harus sama dengan dimensi variabel ruas kanan. Kemudian persamaan tersebut dapat disusun ke dalam perkalian tak berdimensi sebagai berikut,

$$\Pi_1 = \varphi(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \dots, \Pi_{k-r})$$

Menentukan PI

Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis dimensional menurut teorema PI Buckingham adalah sebagai berikut :

1. Tuliskan semua variabel yang terlibat dalam masalah
2. Nyatakan setiap variabel tersebut dalam dimensi dasar
3. Tentukan jumlah PI yang diperlukan. Jumlah PI adalah $k - r$, di mana k adalah jumlah variabel dalam masalah, dan r adalah jumlah dimensi dasar variabel.
4. Pilih jumlah variabel yang berulang. Jumlah variabel berulang sama dengan jumlah dimensi dasar variabel.
5. Tentukan PI dengan cara mengalikan satu variabel tak berulang dengan variabel berulang. Setiap ekponen variabel harus menghasilkan kombinasi tak berdimensi.
6. Periksa semua PI apakah PI tak berdimensi.
7. Nyatakan bentuk akhir sebagai hubungan antara PI dan ambil kesimpulan.

Contoh 1

Misalkan dikehendaki untuk mengetahui penurunan tekanan persatuan panjang pipa sebuah aliran fluida melalui sebuah pipa.

Langkah-langkah penyelesaian :

1. Penurunan tekanan sepanjang pipa bergantung pada variabel berikut :

$$\frac{\Delta p}{l} = f(D, \rho, \mu, V)$$

2. Jumlah variabel yang terlibat adalah enam variabel. Masing-masing variabel dinyatakan dalam dimensi dasar sebagai berikut

$$\begin{aligned}\frac{\Delta p}{l} &\doteq FL^{-3} \\ D &\doteq L \\ \rho &\doteq FL^{-4}T^2 \\ \mu &\doteq FL^{-2}T \\ V &\doteq LT^{-1}\end{aligned}$$

3. Jumlah PI = k - r, di mana k = 5 dan r = 3, Maka jumlah PI ada 2.
3. Jumlah variabel berulang ada tiga variabel. Dipilih : D, V, dan ρ .
4. Menentukan PI_1 dan PI_2 .

Bentuk PI_1 :

$$\Pi_1 = \Delta p D^a V^b \rho^c$$

Dimensi masing-masing kombinasi di atas,

$$F^0 L^0 T^0 = (FL^{-3})(L)^a (LT^{-1})^b (FL^{-4}T^2)^c$$

$$\begin{aligned}\text{Untuk F} &: 0 = 1 + c \\ \text{Untuk L} &: 0 = -3 + a + b - 4c \\ \text{Untuk T} &: 0 = -b + 2c\end{aligned}$$

Menyelesaikan sistem persamaan di atas diperoleh, a = 1, b = -2, c = -1. Sehingga

$$\Pi_1 = \Delta p D V^{-2} \rho^{-1} = \frac{\Delta p D}{V^2 \rho}$$

Bentuk PI_2 :

$$\Pi_2 = \mu D^a V^b \rho^c$$

Dimensi masing-masing kombinasi di atas,

$$F^0 L^0 T^0 = (FL^{-2}T)(L)^a(LT^{-1})^b(FL^{-4}T^2)^c$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk F} &: 0 = 1 + c \\ \text{Untuk L} &: 0 = -2 + a + b - 4c \\ \text{Untuk T} &: 0 = 1 - b + 2c \end{aligned}$$

Menyelesaikan sistem persamaan di atas diperoleh, $a = -1$, $b = -1$, $c = -1$. Sehingga

$$\Pi_2 = \mu D^{-1} V^{-1} \rho^{-1} = \frac{\mu}{D V \rho}$$

5. Memeriksa dimensi masing-masing PI berdasarkan FLT dan MLT.

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \frac{\Delta p D}{\rho V^2} = \frac{(FL^{-3})(L)}{(FL^{-4}T^2)(LT^{-1})^2} = F^0 L^0 T^0 \\ \Pi_2 &= \frac{\mu}{D \rho V} = \frac{(FL^{-2}T)}{(L)(LT^{-1})(FL^{-4}T^2)} = F^0 L^0 T^0 \end{aligned}$$

atau,

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \frac{\Delta p D}{\rho V^2} = \frac{(ML^{-2}T^{-2})(L)}{(ML^{-3})(LT^{-1})^2} = M^0 L^0 T^0 \\ \Pi_2 &= \frac{\mu}{D \rho V} = \frac{(ML^{-1}T^{-1})}{(L)(LT^{-1})(ML^{-3})} = M^0 L^0 T^0 \end{aligned}$$

6. Menyatakan hasil analisis dimensi seperti berikut,

$$\frac{\Delta p D}{\rho V^2} = \bar{\Phi} \left(\frac{\mu}{D V \rho} \right)$$

Contoh 2

Sebuah plat tipis empat persegi panjang mempunyai lebar w , dan tinggi h diletakkan dalam suatu aliran fluida

PEMILIHAN VARIABEL

Dalam analisis dimensional pemilihan variabel merupakan langkah penting dan cukup sulit. Variabel dapat diklasifikasikan dalam kelompokan geometri, sifat material dan efek eksternal. Karakteristik geometri digambarkan oleh panjang dan sudut. Respon dari suatu sistem yang dikenai pengaruh dari luar seperti gaya, tekanan dan perubahan temperatur bergantung pada sifat material seperti viskositas dan kerapatan. Pengaruh eksternal merupakan variabel yang dapat mengubah keadaan sistem sebagai contoh gaya,

tekanan, kecepatan dan gravitasi.

Jumlah variabel sebaiknya sesedikit mungkin dan variabel tersebut independen. Misalkan, jika dalam suatu masalah diketahui bahwa momen inersia penampang dari plat lingkaran adalah variabel penting maka dapat dipilih salah satu momen inersia atau diameter plat sebagai variabel yang berhubungan.

Berikut ini adalah langkah-langkah yang perlu dipertimbangkan dalam memilih variabel:

1. Definisikan masalah secara jelas. Variabel apa yang menjadi perhatian (variabel dependen) ?
2. Ingat rumus/hukum dasar yang memenuhi fenomena.
3. Mulai memilih variabel dengan mengelompokkan variabel ke dalam tiga katagori, yaitu geometri, sifat material dan pengaruh eksternal.
4. Ingat variabel yang belum termasuk ke dalam katagori di atas. Misalkan waktu, apakah variabel waktu sangat penting dalam masalah.
5. Masukkan berbagai besaran dalam masalah walaupun besaran tersebut adalah konstan (gravitasi).
6. Yakinkan bahwa semua variabel adalah independen.

DIMENSI PRIMER

Jumlah dimensi yang dipilih mempengaruhi **PI**. Dimensi primer yang dipilih harus menggambarkan fenomena mekanika fluida seperti **M, L, T** atau **F, L, T**.

KETIDAKUNIKAN PI

PI bergantung pada variabel berulang yang dipilih. Misalkan, pada masalah penurunan tekanan dalam pipa dipilih variabel berulang D, V dan ρ akan diperoleh PI sebagai berikut:

$$\frac{\Delta p' D}{\rho V^2} = \phi \left(\frac{\rho V D}{\mu} \right)$$

Jika dipilih variabel berulang D, V dan μ akan diperoleh

$$\frac{\Delta p' D^2}{\mu V} = \phi_1 \left(\frac{\rho V D}{\mu} \right)$$

Kedua hasil di atas benar, dan keduanya akan menghasilkan persamaan akhir yang sama. Dari hasil di atas nampak bahwa analisis dimensional tidak unik. Walaupun hasilnya tidak unik, tetapi jumlah PI akan sama/tetap. Bentuk **PI** yang mana yang terbaik ? Adalah bentuk PI yang sesederhana mungkin dan mudah dilakukan dalam eksperimen. Pilihan terakhir akan bergantung pada latar belakang peneliti.

KORELASI DATA EKSPERIMEN

Analisis dimensional tidak dapat memberikan jawaban lengkap dari suatu masalah yang diberikan, yang diberikan hanya gambaran fenomena. Namun analisis dimensional sangat

membantu dalam eksperimen, yaitu dalam interpretasi dan korelasi data eksperimen. Untuk menentukan hubungan antara grup variabel yang dihasilkan dari analisis dimensional diperlukan data hasil eksperimen. Derajat kesulitan eksperimen bergantung pada jumlah PI dan setup eksperimen (alat ukur, dll).

MASALAH DENGAN SATU PI

Jika jumlah variabel dikurangi jumlah dimensi dasar sama dengan satu, maka hanya ada satu PI yang menggambarkan fenomena suatu masalah. Hubungan fungsi ini dinyatakan dengan

$$\Pi = C$$

di mana C adalah konstanta. Harga C ini harus ditentukan oleh eksperimen.

CONTOH :

Anggap bahwa gaya drag (F_d) yang bekerja pada suatu bola yang jatuh secara perlahan melalui fluida viskos sebagai fungsi dari diameter bola, D, kecepatan bola, V, dan viskositas fluida, μ . Tentukan gaya drag yang bergantung pada kecepatan bola dengan menggunakan analisis dimensional.

JAWAB:

$$F_d = f(D, V, \mu)$$

dimensi variabel,

$$\begin{aligned} F_d &\doteq M L T^{-2} \\ D &\doteq L \\ V &\doteq L T^{-1} \\ \mu &\doteq M L^{-1} T^{-1} \end{aligned}$$

dimensi primer yang dipilih, M, L, dan T untuk menggambarkan variabel-variabel yang terlibat. Maka jumlah PI adalah $4 - 3 = 1$. Hanya ada satu PI saja. Variabel berulang dipilih D, V dan μ .

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= F_d D^a V^b \mu^c \\ M^0 L^0 T^0 &\doteq M L T^{-2} L^a [L T^{-1}]^b [M L^{-1} T^{-1}]^c \end{aligned}$$

dan

$$\begin{array}{lcl} M & \rightarrow 0 = 1 + c & \rightarrow c = -1 \\ L & \rightarrow 0 = 1 + a + b - c & \rightarrow a = c - b - 1 \rightarrow a = -1 \\ T & \rightarrow 0 = -2 - b - c & \rightarrow b = -2 - c \rightarrow b = -1 \end{array}$$

didapat, $a = b = c = -1$, sehingga

$$\begin{aligned} \frac{F_d}{DV\mu} &= C \\ \Pi_1 &= \frac{F_d}{DV\mu} \\ F_d &\propto DV\mu \end{aligned}$$

atau karena PI hanya satu,

Sebenarnya, analisis dimensional menghubungkan gaya drag tidak hanya bergantung pada kecepatan saja, tetapi juga bergantung pada diameter bola dan viskositas fluida. Gaya drag tidak dapat diprediksi karena konstanta C tidak diketahui. Eksperimen perlu dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara gaya drag dengan kecepatan pada diameter bola dan viskositas fluida tertentu.

Hasil analitik memberikan $C = 3\pi$. Jadi,

$$F_d = 3\pi\mu DV$$

persamaan di atas dikenal dengan persamaan **Stokes**.

MASALAH DENGAN DUA ATAU LEBIH PI

Jika fenomena dari suatu masalah dapat digambarkan dengan dua PI berikut,

$$\Pi_1 = \phi(\Pi_2)$$

hubungan fungsi di antara variabel dapat ditentukan dengan memvariasikan Π_2 dan mengukur berbagai harga yang Π_1 . Kemudian hasilnya dapat disajikan dalam bentuk grafik dengan mem-plot Π_1 terhadap Π_2 .

CONTOH:

Hubungan antara penurunan tekanan per satuan panjang pipa (dinding pipa smooth dan pipa horisontal) dan variabel-variabel yang mempengaruhi penurunan tekanan ditentukan secara eksperimen. Di laboratorium penurunan tekanan diukur pada pipa dengan panjang 5 ft dan berdiameter 0.496 in. Fluida yang mengalir di dalamnya adalah air bertemperatur 60° ($\mu = 2.34 \times 10^{-5}$ lb.s/ft, $\rho = 1.94$ slugs/ft³). Pengujian telah dilakukan dengan memvariasikan kecepatan dan mengukur penurunan tekanan yang terjadi. Hasil pengujian adalah sebagai berikut:

Kecepatan (ft/s)	1.17	1.95	2.91	5.84	11.13	16.92	23.34	28.73
Penurunan Tekanan (lb/ft ²)	6.26	15.6	30.9	106	329	681	1200	1730

Gunakan data di atas untuk mendapatkan hubungan general antara penurunan tekanan dan variabel lainnya.

JAWAB

Dari analisis dimensional, penurunan tekanan persatuan panjang merupakan fungsi dari diameter pipa, D, kerapatan, ρ , viskositas, μ , dan kecepatan, V. Maka

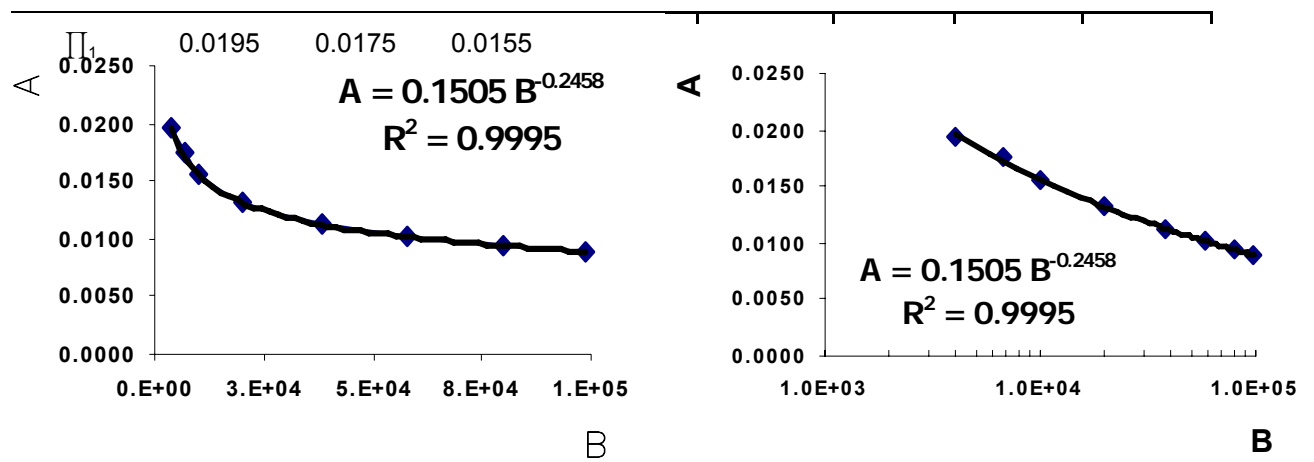
$$\frac{\Delta p}{l} = f(D, \rho, \mu, V)$$

dengan menerapkan teorema PI, diperoleh

$$\Pi_1 = \varphi(\Pi_2)$$

$$\frac{\Delta p_l D}{\rho V^2} = \varphi\left(\frac{\rho V D}{\mu}\right)$$

Berdasarkan data yang diberikan harga untuk kedua PI dapat dihitung dengan hasil



				0.0132	0.0113	0.0101	0.00939	0.00893
$\Pi_2 (Re_D)$	4.01×10^3	6.68×10^3	9.97×10^3	2.00×10^4	3.81×10^4	5.8×10^4	8.0×10^4	9.85×10^4

grafik dari data di atas adalah,

pada grafik, $A = \Pi_1$ dan $B = \Pi_2$. Dengan demikian,

$$\Pi_1 = 0.1505 (\Pi_2)^{-0.2458}$$

$$\frac{\Delta p_l D}{\rho V^2} = 0.1505 \left(\frac{\rho V D}{\mu} \right)^{-\frac{1}{4}}$$

persamaan di atas adalah persamaan empiris untuk memprediksi penurunan tekanan dalam pipa halus (smooth) dengan daerah bilangan Reynolds, $4 \times 10^3 < Re < 10^5$. Semakin banyak jumlah PI maka semakin sulit menyajikannya dalam bentuk grafik dan menentukan persamaan empirik yang menggambarkan fenomenanya. Untuk masalah yang melibatkan tiga PI, masih mungkin menyajikan korelasi data pada grafik.

$$\Pi_1 = \phi(\Pi_2, \Pi_3)$$

BILANGAN TAK BERDIMENSI

Bilangan Reynolds,

Mengukur perbandingan antara gaya inersia elemen fluida dan gaya viskos pada elemen fluida.

$$Re = \frac{\rho V l}{\mu} = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya viskos}}$$

Jika bilangan Reynolds sangat kecil ($Re \ll 1$), ini menunjukkan bahwa gaya viskos lebih dominan dalam masalah aliran fluida dan pengaruh gaya inersia dapat diabaikan, sehingga kerapatan fluida dapat diabaikan pula. Untuk aliran di mana bilangan Reynolds sangat kecil sekali aliran tersebut disebut '*creeping flow*'.

Untuk bilangan Reynolds yang sangat besar, pengaruh viskos pada aliran fluida sangat kecil terhadap pengaruh gaya inersia elemen fluida. Dalam kasus ini, dimungkinkan untuk mengabaikan efek viskos (Fluida nonviskos).

Bilangan Froude,

Mengukur perbandingan antara gaya inersia pada elemen fluida dan berat elemen fluida.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gl}} = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya gravitasi}}$$

Bilangan Froude sangat penting dalam masalah-masalah yang melibatkan aliran fluida dengan permukaan bebas karena gravitasi paling berpengaruh dalam aliran ini.

Bilangan Euler (bilangan kavitasi),

Mengukur perbandingan antara gaya tekan dan gaya inersia. Bilangan ini digunakan dalam masalah aliran fluida di mana tekanan atau beda tekanan antara dua titik merupakan variabel yang penting.

$$Eu = \frac{p}{\rho V^2} = \frac{\text{gaya tekanan}}{\text{gaya inersia}}$$

Bilangan Mach dan Cauchy,

$$Ca = \frac{\rho V^2}{E_v} = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gayakompresibilitas}}$$

$$Ma = \frac{V}{c} = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya kompresibilitas}}$$

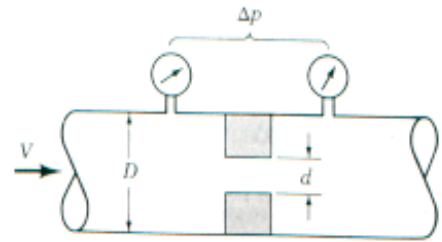
Kedua bilangan ini sangat penting dalam masalah kompresibilitas (aliran kompresibel). Kedua bilangan dapat diinterpretasikan sebagai rasio gaya inersia dan gaya kompresibilitas.

Bila bilangan Mach kecil ($Ma \ll 0.3$) gaya inersia yang diinduksikan oleh gerakan fluida tidak cukup besar untuk menyebabkan perubahan kerapatan massa. Untuk kasus ini, kompresibilitas fluida dapat diabaikan (aliran fluida inkompresibel).

SOAL-SOAL :

1. Plat persegi panjang dengan ukuran w dan h diletakan normal terhadap arus aliran fluida. Anggap gaya tahanan yang bekerja pada plat F_D fungsi dari w dan h , viskositas fluida, kerapatan dan kecepatan aliran. Dengan analisis dimensional, tentukan hubungan antara gaya tahanan dan variabel-variabel tersebut untuk dikaji secara eksperimen.

2. Anggap bahwa daya, P , yang diperlukan untuk menggerakkan fan sebagai fungsi dari diameter, D , kerapatan fluida, ρ , putaran, ω , dan laju aliran Q . Gunakan D , n , dan ρ sebagai variabel berulang untuk mendapatkan PI.



3. Masukkan daya pompa sentrifugal merupakan fungsi dari debit, Q , diameter impeler, D , putaran poros, n , kerapatan air, ρ dan viskositasnya, μ . Lakukan analisis dimensional untuk kasus ini.

4. Anggap gaya tahanan F_D pada sebuah bola kecil yang jatuh secara lambat melalui fluida viskos adalah fungsi dari diameter bola d , kecepatan bola, dan viskositas fluida. Tentukan dengan bantuan analisis dimensional, bagaimana pengaruh kecepatan partikel terhadap gaya tahanan bola.

5. Anggap bahwa laju aliran gas, Q , keluar dari cerobong sebagai fungsi dari kerapatan udara sekeliling, ρ , kerapatan gas dalam cerobong, ρ_g , percepatan gravitasi, g , tinggi cerobong, h , dan diameter cerobong, D . Gunakan variabel berulang ρ , D , dan g sebagai variabel berulang untuk mengembangkan PI yang menggambarkan masalah aliran gas dalam cerobong tersebut.

6. Sebuah plat tipis segiempat mempunyai lebar w dan tinggi h diletakan normal terhadap aliran suatu fluida. Anggap gaya tahanan, F_D yang diberikan oleh fluida pada plat tersebut sebagai fungsi dari w dan h , viskositas fluida, kerapatan dan kecepatan aliran. Tentukan susunan PI yang sesuai untuk menyelesaikan masalah ini secara eksperimen.

7. Gaya tahanan, F pada permukaan kapal merupakan fungsi dari panjang, L , gravitasi, g , kerapatan air, ρ dan viskositasnya, μ . Lakukan analisis dimensional untuk kasus ini.

8. Kenaikkan tekanan, Δp , melalui pompa dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta p = f(D, \rho, \omega, Q)$$

Di mana, D adalah diameter impeller, ρ adalah kerapatan fluida, ω adalah kecepatan putaran dan Q adalah laju aliran. Tentukan PI yang menggambarkan masalah tersebut.

9. Hasil eksperimen pengukuran penurunan tekanan aliran fluida melalui pipa sepanjang 5 ft dan berdiameter 0.496 in adalah sebagai berikut

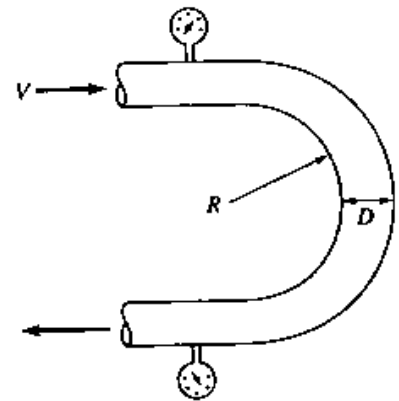
Kecepatan (ft/s)	1.1 7	1.95	2.91	5.84	11.13	16.92	23.34	28.73
Pressure Drop (lb/ft ²)	6.2 6	15.60	30.90	106	329	681	1200	1730

Fluida yang mengalir di dalamnya adalah air bertemperatur 60° ($\mu = 2.34 \times 10^{-5}$ lb.s/ft, $\rho = 1.94$ slugs/ft³). Tentukan hubungan antara penurunan tekanan dengan variabel yang terlibat.

10. Fluida mengalir pada kecepatan V melalui pipa horizontal berdiameter D . Sebuah plat berlubang (orifice) berdiameter d diletakan di dalam pipa. Anggap bahwa

$\Delta p = f(D, d, \rho, V)$, tentukan parameter takberdimensi yang dapat digunakan untuk meneliti penurunan tekanan ini. Data eksperimen diperoleh sebagai berikut : $D = 0.2$ ft, $\rho = 2.0$ slugs/ft³ dan $V = 2$ ft/s dan hasilnya sebagai berikut:

d (ft)	0.06	0.08	0.10	0.15
Δp (lb/ft ²)	493.8	156.2	64.0	12.6



Plot hasil eksperimen ini, kemudian tentukan persamaan umum untuk Δp . Sebutkan batasan-batasan persamaan tersebut.

- Gaya angkat (**bouyancy**) F_B bekerja pada benda yang berada dalam suatu fluida. Tunjukkan dengan analisis dimensional bahwa gaya angkat sebanding dengan berat jenis !
- Penurunan tekanan per satuan panjang, Δp_l untuk aliran darah dalam diameter tabung horizontal adalah fungsi dari laju aliran volume, Q , diameter saluran, D , dan viskositas darah, μ . Dari serangkaian test di laboratorium di mana $D = 2$ mm dan $\mu = 0.004$ N.s/m² diperoleh data penurunan tekanan sepanjang pipa yang panjangnya, $l = 300$ mm, sebagai berikut:

Q (m ³ /s)	Δp (N/m ²)
3.6×10^{-6}	1.1×10^{-4}
4.9×10^{-6}	1.5×10^{-4}
6.3×10^{-6}	1.9×10^{-4}
7.9×10^{-6}	2.4×10^{-4}
9.8×10^{-6}	3.0×10^{-4}

Lakukan analisis dimensional untuk masalah ini dan buat korelasi umum menggunakan data di atas yang menghubungkan variabel Δp_l dan Q .

- Air mengalir dalam belokan pipa (elbow 180°) pada kecepatan V . Penurunan tekanan Δp antara sisi masuk dan keluar belokan pipa sebagai fungsi dari kecepatan aliran, radius belokan pipa, R , diameter pipa, D dan kerapatan fluida, ρ . Dari eksperimen diperoleh data sebagai berikut: $\rho = 2.0$ slugs/ft³, $R = 0.5$ ft dan D

= 0.1 ft. Lakukan analisis dimensional berdasarkan data tersebut.

V (ft/s)	2.1	3.0	3.9	5.1
Δp (lb/ft ²)	1.2	1.8	6.0	6.5

14. Laju aliran, Q dalam saluran terbuka dapat diukur dengan cara memasang suatu plat dengan penampang saluran berbentuk V seperti tampak pada gambar. Tipe seperti ini disebut weir meter tipe V (V-notch). Tinggi permukaan cairan, H, dapat digunakan untuk menentukan Q. Anggap bahwa,

$$Q = f(H, g, \theta)$$

di mana g adalah percepatan gravitas. Tentukan hubungan antara Q dengan variabel-variabel tersebut !

15. Laju aliran, Q, kasus di atas berbanding lurus dengan $\tan \theta/2$. Di laboratorium telah dilakukan pengukuran dengan $\theta = 90^\circ$ dan $H = 0.3$ m, $Q = 0.068$ m³/s. Berdasarkan data tersebut, tentukan persamaan umum weir meter tersebut.
16. Kecepatan suara, c, merupakan fungsi dari tekanan gas, p, dan kerapatannya, ρ . Tentukan hubungan antara kecepatan suara, c, dengan tekanan dan kerapatan gas menggunakan analisis dimensional.



PEMODELAN DAN SIMILITUDE

Model digunakan secara luas dalam mekanika fluida, contoh model struktur, pesawat, kapal laut, sungai, pelabuhan, bendungan dan sebagainya. **Model** adalah representasi dari suatu sistem fisik yang dapat digunakan untuk memprediksi perilaku sistem pada aspek-aspek yang dikehendaki. Sistem fisik yang diprediksi dan kemudian dibuat disebut **Prototipe**.

Model biasanya lebih kecil daripada prototipe, karena lebih mudah ditangani dalam laboratorium dan lebih murah pembuatan dan pengoperasiannya. Walaupun demikian, jika prototipe sangat kecil, lebih menguntungkan jika modelnya dibuat lebih besar sehingga mudah dipelajari.

Teori Model

Variabel yang menggambarkan perilaku sistem fisik dapat dinyatakan dalam hubungan berikut

$$\Pi_1 = \varphi(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \dots, \Pi_n)$$

hubungan serupa dapat dituliskan untuk model dari prototipe,

$$\Pi_{1m} = \varphi(\Pi_{2m}, \Pi_{3m}, \Pi_{4m}, \dots, \Pi_n)$$

Persamaan di atas disebut **persamaan prediksi**. PI mengandung variabel yang dapat digunakan untuk memprediksi model. Jadi model dirancang dan dioperasikan pada kondisi,

$$\begin{aligned} \Pi_{2m} &= \Pi_2 \\ \Pi_{3m} &= \Pi_3 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ \Pi_{nm} &= \Pi_n \end{aligned}$$

Kondisi di atas adalah **kondisi perancangan model**, atau sering disebut hukum pemodelan atau persyaratan keserupaan (**similarity**).

Contoh : Diinginkan menentukan gaya tahanan (**drag**) sebuah plat (ukuran $w \times h$) yang diletakan dalam arah normal kecepatan fluida V .

Analisis dimensional,

$$F_D = f(w, h, \mu, \rho, V)$$

menerapkan teorema PI didapat,

$$\frac{F_D}{w^2 \rho V^2} = \Phi \left(\frac{w}{h}, \frac{\rho V w}{\mu} \right)$$

untuk model,

$$\frac{F_{Dm}}{w_m^2 \rho_m V_m^2} = \Phi \left(\frac{w_m}{h_m}, \frac{\rho_m V_m w_m}{\mu_m} \right)$$

Kondisi perancangan model atau persyaratan keserupaan adalah

$$\frac{w_m}{h_m} = \frac{w}{h}$$

$$\frac{\rho_m V_m w_m}{\mu_m} = \frac{\rho V w}{\mu}$$

$$\frac{F_{Dm}}{w_m^2 \rho_m V_m^2} = \frac{F_D}{w^2 \rho V^2}$$

Secara umum dapat dikatakan bahwa **untuk mencapai keserupaan antara perilaku model dan prototipe maka semua PI harus sama antara model dan prototipe**. Keserupaan di atas berturut-turut menunjukkan kesamaan geometri (***geometric similarity***), kesamaan kinematik (***kinematic similarity***), dan kesamaan dinamik (***dynamic similarity***).

Dari persamaan di atas dapat diperoleh,

$$\frac{h_m}{h} \text{ atau } \frac{w_m}{w}$$

rasio variabel panjang di atas disebut **skala panjang**.

Contoh : Test model dilakukan untuk mempelajari aliran melalui katup besar yang mempunyai diameter 2 ft dan mengalirkan air 30 cfs. Fluida kerja dalam model adalah air yang bertemperatur sama dengan prototipe. Tentukan laju aliran yang diperlukan jika diameter model 3 in !

Penyelesaian :

Kondisi perancangan model :

$$Re_m = Re$$

$$\frac{\rho_m V_m w_m}{\mu_m} = \frac{\rho V w}{\mu}$$

Karena fluida yang digunakan untuk model dan prototipe sama, maka

$$\frac{V_m}{V} = \frac{D}{D_m}$$

Laju aliran fluida, $Q = V.A$, maka

$$\frac{Q_m}{Q} = \frac{V_m A_m}{VA} = \left(\frac{D}{D_m} \right) \frac{[\pi/4 D_m^2]}{[\pi/4 D^2]}$$

$$= \frac{D_m}{D}$$

Jadi besar laju aliran air pada model adalah

$$Q_m = Q \frac{D_m}{D} = 3.75 \text{ cfs}$$

Skala Model

Rasio besaran model dan prototipe harus memenuhi persyaratan keserupaan (similarity). Jika dalam suatu masalah terdapat dua variabel panjang l_1 dan l_2 , dari persyaratan keserupaan berdasarkan pi akan diperoleh dua variabel berikut:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{l_{m1}}{l_{m2}}$$

sehingga

$$\frac{l_{m1}}{l_1} = \frac{l_{m2}}{l_2}$$

di mana rasio di atas disebut juga dengan **skala panjang**. Skala dinyatakan sebagai rasio harga model terhadap harga prototipe. Contoh: skala panjang 1 : 10 (atau model skala 1:10) berarti ukuran model adalah sepersepuluh ukuran prototipe.

Beberapa model kasus tipikal

Aliran dalam Saluran tertutup

Aliran dalam saluran yang bergerak pada bilangan Mach rendah, bilangan PI independen (seperti penurunan tekanan yang terjadi) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\pi = \phi\left(\frac{l_i}{l}, \frac{\varepsilon}{l}, \frac{\rho V l}{\mu}\right)$$

Dua suku pertama ruas kanan menunjukkan persyaratan similarity geometri, sehingga

$$\begin{aligned}\frac{l_{im}}{l_m} &= \frac{l_i}{l} \\ \frac{\varepsilon_m}{l_m} &= \frac{\varepsilon}{l} \\ \frac{l_{im}}{l_i} &= \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon} = \frac{l_m}{l} = \lambda_l\end{aligned}$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa seorang peneliti bebas memilih skala panjang, λ_l . Namun jika sudah dipilih, semua panjang harus mengikuti rasio skala yang sama. Persyaratan similarity dari bilangan Reynolds,

$$\frac{\rho_m V_m l_m}{\mu_m} = \frac{\rho V l}{\mu}$$

Dari persamaan di atas, skala kecepatan dapat ditulis sebagai

$$\frac{V_m}{V} = \frac{\mu_m}{\mu} \frac{\rho}{\rho_m} \frac{l}{l_m}$$

Harga aktual skala kecepatan bergantung pada skala viskositas, kerapatan dan panjang. Fluida yang berbeda dapat digunakan untuk model dan prototipe. Jika menggunakan fluida yang sama, maka skala kecepatan menjadi,

$$\frac{V_m}{V} = \frac{l}{l_m}$$

Dengan demikian, $V_m = V/\lambda_l$, yang menunjukkan bahwa kecepatan fluida dalam model akan lebih besar daripada prototipe untuk skala panjang yang lebih kecil dari 1.

Jika variabel dependennya penurunan tekanan, Δp , maka

$$\pi = \frac{\Delta p}{\rho V^2}$$

Penurunan tekanan prototipe dapat diperoleh dari hubungan,

$$\Delta p = \frac{\rho}{\rho_m} \left(\frac{V}{V_m} \right)^2 \Delta P_m$$

Dengan demikian, besar penurunan tekanan prototipe dapat diprediksi dari besar penurunan tekanan model. Secara umum besar penurunan tekanan model tidak sama dengan besar penurunan tekanan prototipe.

Aliran disekitar benda

Banyak model digunakan untuk mempelajari karakteristik aliran fluida disekitar benda. Misalnya aliran udara disekitar pesawat, mobil, bola golf dan gedung-gedung. Model-model ini biasanya ditest dalam terowongan angin. Hukum-hukum pemodelan untuk kasus ini sama dengan kasus sebelumnya (aliran fluida dalam saluran tertutup), yaitu similar secara geometri, dan kinematik (bilangan Reynolds). Karena tidak ada interaksi antara partikel fluida, permukaan tarikan (surface tension) tidak penting. Juga pengaruh gravitasi dapat diabaikan sehingga bilangan Froude tidak perlu dipertimbangkan. Bilangan Mach cukup penting untuk dipertimbangkan apabila aliran kecepatan tinggi di mana kompresibilitas menjadi faktor penting, namun untuk aliran fluida inkompresibel (cairan atau gas pada kecepatan rendah) bilangan Mach dapat diabaikan. Untuk kasus ini, formulasi umum dapat ditulis sebagai berikut:

$$\pi = \phi \left(\frac{l_i}{l}, \frac{\varepsilon}{l}, \frac{\rho V l}{\mu} \right)$$

Variabel dependen yang sering menjadi perhatian adalah gaya tahanan, F_D pada benda. Koefisien gaya tahanan, C_D ditulis dalam bentuk,

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 l^2}$$

Dengan mempertahankan keserupaan/similarity secara geometri, kinematik dan dinamik, maka diperoleh hubungan,

$$F_D = \left(\frac{\rho}{\rho_m} \right) \left(\frac{V}{V_m} \right)^2 \left(\frac{l}{l_m} \right)^2 F_{DM}$$

Gaya tahanan pada model dapat digunakan untuk memprediksi gaya tahanan prototipe. Skala panjang dan skala kecepatan sama dengan masalah aliran dalam saluran.

CONTOH

Gaya tahanan pada pesawat yang terbang pada 240 mph dalam udara standar ditentukan dari test pada model 1:10 dalam suatu terowongan angin bertekanan. Untuk memperkecil

efek kompresibilitas, kecepatan udara dalam terowongan angin sebesar 240 mph. Tentukan tekanan udara dalam terowongan (anggap temperatur udara model dan prototipe sama) dan gaya tahanan pada prototipe jika gaya tahanan pada model sebesar 1 lbf.

PENYELESAIAN

Hukum pemodelan mensyaratkan bahwa model dan prototipe harus serupa/similar secara geometri (skala model), kinematik (bilangan Reynolds model sama dengan prototipe) dan dinamik. Maka

$$Re_m = Re_p$$

atau

$$\frac{\rho_m V_m l_m}{\mu_m} = \frac{\rho V l}{\mu}$$

dalam hal ini, $V_m = V$ (kecepatan udara sekitar model sama dengan prototipe), dan skala panjang = 1:10, maka

$$\frac{\rho_m}{\rho} = \frac{\mu}{\mu_m} \frac{V}{V} \frac{l}{l_m}$$

di dapat,

$$\frac{\rho_m}{\rho} = 10 \frac{\mu}{\mu_m}$$

Ini menunjukkan bahwa jika fluida yang sama tidak dapat digunakan, jika similarity kinematik dipertahankan. Kemungkinan yang lain adalah dengan memberi/menaikkan tekanan udara dalam terowongan angin. Dengan menganggap tekanan tidak berpengaruh terhadap viskositas, maka

$$\frac{\rho_m}{\rho} = 10$$

Untuk gas ideal, $p = \rho RT$, maka

$$\frac{p_m}{p} = \frac{\rho_m}{\rho}$$

untuk temperatur konstan ($T = T_m$). Jadi tekanan udara dalam terowongan angin adalah

$$\frac{p_m}{p} = 10$$

Karena prototipe beroperasi pada tekanan atmosfer standar, maka tekanan yang diperlukan dalam terowongan angin adalah

$$p_m = 10 p = 147 \text{ Psia}$$

Untuk menentukan gaya tahanan pada prototipe, similarity secara dinamik harus dipenuhi, yaitu

$$\frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 l^2} = \frac{F_{D_m}}{\frac{1}{2} \rho_m V_m^2 l_m^2}$$

dan

$$F_D = \left(\frac{\rho}{\rho_m} \right) \left(\frac{V}{V_m} \right)^2 \left(\frac{l}{l_m} \right)^2 F_{D_m}$$

$$F_D = \left(\frac{1}{10} \right) (1)^2 (10)^2 F_{D_m}$$

Dengan demikian, gaya tahanan pada prototipe sebesar 10 lbf.

SOAL-SOAL :

1. Glycerin pada 20° dengan kecepatan 4 m/s mengalir melalui pipa berdiameter 40 mm. Model untuk sistem ini dikembangkan menggunakan udara sebagai model fluida. Kecepatan udara 2 m/s. Tentukan ukuran pipa yang diperlukan untuk model !
2. Oil SAE 30 pada 60°F dipompakan melalui pipa berdiameter 3 ft pada laju 5700 gal/min. Model pipa dibuat berdiameter 2 in dan air pada 60°F digunakan sebagai fluida kerjanya. Untuk mempertahankan bilangan Reynolds yang sama antara dua sistem ini tentukan kecepatan aliran pada model !
3. Karakteristik dinamik fluida pesawat yang terbang pada kecepatan 280 mph pada ketinggian 10000ft diteliti dengan bantuan model 1 : 20. Jika test model dilakukan dalam terowongan angin menggunakan udara standar, berapa kecepatan udara dalam terowongan angin ?
4. Pompa sentrifugal mempunyai diameter impeler 1 m dibuat untuk menyuplai head 200 m pada laju aliran sebesar 4 m³/s dan beroperasi pada 1200 rpm. Untuk mempelajari karakteristiknya, dibuat model dengan skala 1/5. Model dioperasikan pada putaran yang sama untuk ditest di laboratorium. Tentukan head keluaran model ! (Anggap model dan prototipe mempunyai kecepatan yang sama)
5. Karakteristik gaya tahanan sebuah mobil baru yang panjangnya 20 ft ditentukan dengan mempelajari model di laboratorium. Karakteristik gaya tahanan yang akan diteliti adalah pada kecepatan 20 mph dan 90 mph. Jika model mempunyai panjang 4 ft. Tentukan rentang kecepatan dalam terowongan angin !
6. Karakteristik gaya tahanan sebuah torpedo diperelajari dalam "water tunnel" menggunakan model skala 1 : 5. Dalam eksperimen "tunnel" menggunakan air tawar pada 20°C sebagai fluida kerjanya sedangkan prototipe torpedo akan beroperasi dalam air laut pada temperatur 15.6°C dan bergerak pada kecepatan 30 m/s. Tentukan

kecepatan air tawar dalam “water tunnel” !

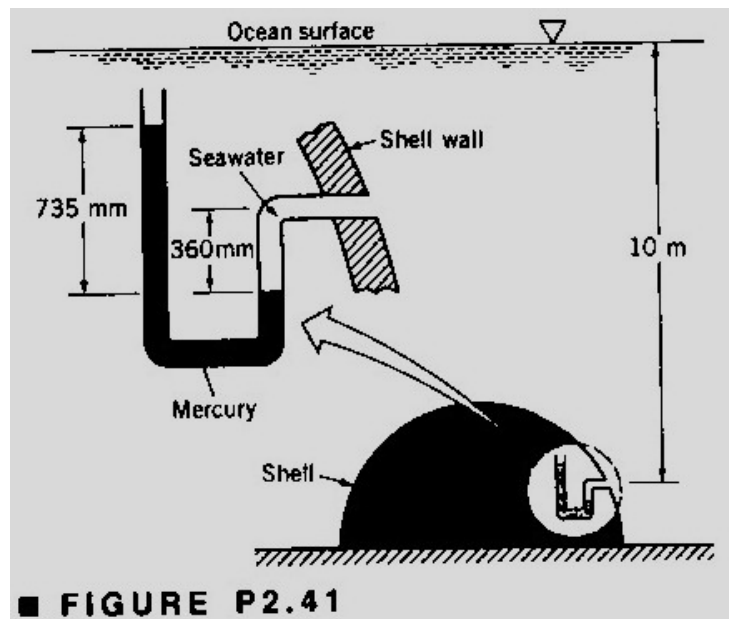
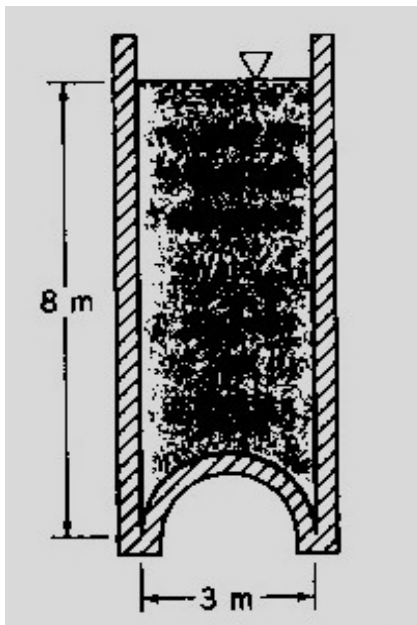
7. Model suatu mobil mempunyai skala $1/5$ sedang dites dalam terowongan angin yang udaranya sama dengan sifat-sifat udara sekitar prototipe. Kecepatan prototipe 80 km/jam. Jika gaya tahanan pada model 450 N, berapa gaya tahanan pada prototipe? Tentukan besar daya yang diperlukan untuk melawan gaya tahanan ini.
8. Kompresor aksial dirancang untuk mengalirkan helium pada 1200 rpm. Model berukuran sepertiga dari prototipe dan dites pada 600 rpm dan debit 6 cfm, kenaikan tekanan yang terjadi 145 kPa dan masukan daya sebesar 1 kW. Tentukan debit dan masukan daya prototipe.

UJIAN TENGAH SEMESTER GANJIL 2011/2012

Matakuliah : Mekanika Fluida Dasar
Dosen : Ir. Toto Supriyono, MT
Durasi Ujian : 120 Menit
Sifat Ujian : Buka Buku/Catatan

Selesaikan Soal-soal berikut ini !

1. Suatu tangki udara bertekanan berisi 6 kg udara pada temperatur 80°F . Tekanannya terbaca 300 kPa. Tentukan volume tangki tersebut.
2. Perhatikan gambar P2.41. Berdasarkan data pada gambar tersebut, berapa tekanan atmosfer pada permukaan air laut ?
3. Tangki silinder terbuka berdiameter 3 m mempunyai bagian dasar berbentuk setengah bola. Tentukan besar dan arah gaya yang bekerja pada bagian dasar tangki.
4. Tentukan tekanan stagnasi pada hidung kapal selam yang bergerak pada kedalaman 1000 m dari permukaan air laut dan kecepatan 40 knots.

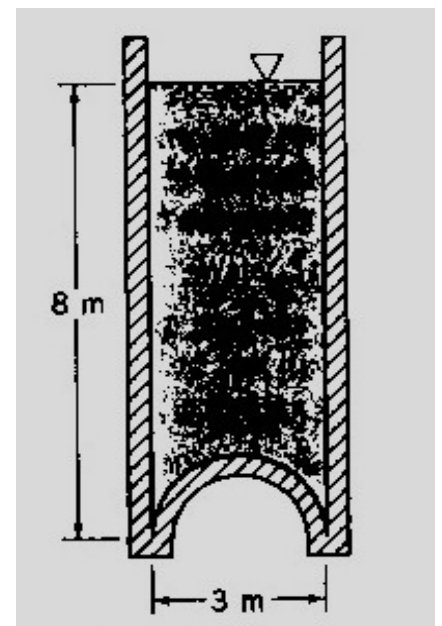
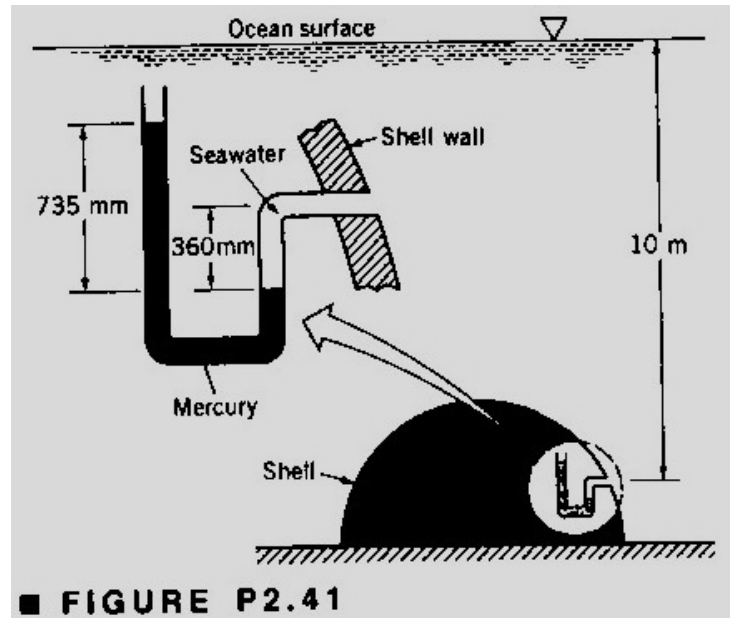


UJIAN TENGAH SEMESTER GANJIL 2010/2011

Matakuliah : Mekanika Fluida Dasar
Durasi Ujian : 180 Menit
Sifat Ujian : Tutup Buku/Catatan
Dosen : Toto Supriyono

Selesaikan Soal-soal berikut ini menggunakan metodologi penyelesaian masalah yang sistematis !

1. Suatu tangki udara bertekana berisi 6 kg udara pada temperatur 80°F . Tekanannya terbaca 300 kPa. Tentukan volume tangki tersebut.
2. Perhatikan gambar P2.41. Berdasarkan data pada gambar tersebut, berapa tekanan atmosfer pada permukaan air laut ?
3. Lihat gambar di kanan bawah. Tangki silinder terbuka berdiameter 3 m mempunyai bagian dasar berbentuk setengah bola. Tentukan besar dan arah gaya yang bekerja pada bagian dasar tangki.
4. Nyatakan besaran-besaran berikut ini dalam sistem satuan internasional (SI, System International)
 - a. 742 Btu
 - b. 79.1 hp
 - c. 60°F
 - d. 700 Psig
 - e. 36000 ft
 - f. 4 in H_2O
5. Udara mengalir secara steady dari suatu tangki melalui suatu saluran berdiameter $D = 0.03$ m dan keluar ke udara luar melalui nosel berdiameter $d = 0.01$ m. Tekanan dalam tangki tetap konstan sebesar 3 kPa (gage). Tentukan laju aliran udara dalam saluran



Selamat Bekerja

PANITIA UJIAN FT-UNPAS
Jl. Setiabudi 193 Bandung

UJIAN AKHIR SEMESTER GANJIL 2010/2011

Matakuliah : Mekanika Fluida Dasar
Dosen : Toto Supriyono
Durasi : 180 Menit
Sifat Ujian : Buka Buku/Catatan

Kerjakan semua soal berikut ini:

1. Sebuah motor listrik sebesar 1 hp digunakan untuk menggerakkan fan yang dipasang pada saluran berdiameter 24 in dan menghasilkan kecepatan udara seragam sebesar 35 ft/s. Tentukan efisiensi fan tersebut.
2. Tentukan besar dan arah gaya untuk menahan elbow 180° yang diletakan pada bidang horizontal. Diketahui bahwa diameter elbow 1 in, kecepatan fluida (air) dalam elbow 10 ft/s, dan beda tekanan antara sisi masuk dan keluar adalah 15 kPa.
3. Arus air dalam saluran berdiameter 10 cm mengalir dari sebuah tangki berdiameter 1 m. Jika saluran berada pada kedalaman 3 m dan dipertahankan konstan, tentukan debit air yang dimasukkan ke dalam tangki.

PANITIA UJIAN FT-UNPAS
Jl. Setiabudi 193 Bandung

UJIAN AKHIR SEMESTER GANJIL 2010/2011

Matakuliah : Mekanika Fluida Dasar
Dosen : Toto Supriyono
Durasi : 180 Menit
Sifat Ujian : Buka Buku/Catatan

Kerjakan semua soal berikut ini:

1. Sebuah motor listrik sebesar $3/4$ hp digunakan untuk menggerakkan fan yang dipasang pada saluran berdiameter 24 in dan menghasilkan kecepatan udara seragam sebesar 40 ft/s. Tentukan efisiensi fan tersebut.
2. Tentukan besar dan arah gaya untuk menahan elbow 180° yang diletakan pada bidang horizontal. Diketahui bahwa diameter elbow 1 in, kecepatan fluida (air) dalam elbow 5ft/s, dan beda tekanan antara sisi masuk dan keluar adalah 15 kPa.
3. Arus air dalam saluran berdiameter 10 cm mengalir dari sebuah tangki berdiameter 1 m. Jika saluran berada pada kedalaman 2 m dan dipertahankan konstan, tentukan debit air yang dimasukkan ke dalam tangki.



Nama :

NPM :

Ujian Tengah Semester, Semester Ganjil 2015-2016

Mata Ujian / Kelas : Mekanika Fluida Dasar

Waktu : 120 menit

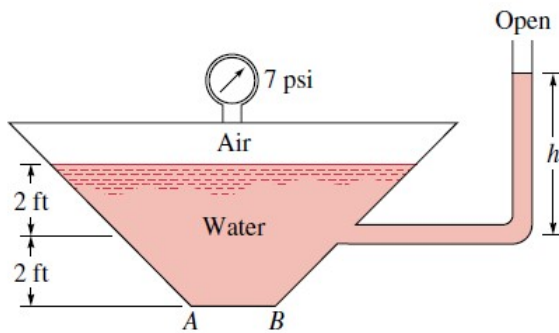
Sifat Ujian : Bekerja Sendiri dan Tutup Buku

Dosen : Team Dosen

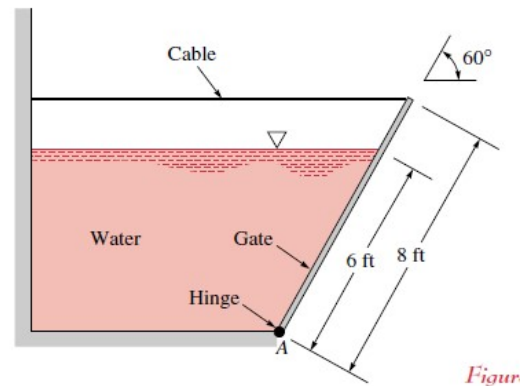
Jawab pada lembar soal yang disediakan. Jawaban yang baik adalah apabila selalu menyertakan satuan.

Kerjakan 3 dari 6 soal berikut :

1. Sebatang pipa kapiler berdiameter 1mm dicelupkan tegak lurus ke dalam zat cair yang masa jenisnya 400 kg/m^3 . Tegangan permukaannya adalah $0,25 \text{ N/m}$ dan sudut kontaknya 60° . Berapa kenaikan zat cair dalam pipa kapiler tersebut ?
2. Tangki seperti dalam gambar 1 diisi dengan air. Pressure gauge di atas tangki membaca tekanan 7 Psi. tentukan:
 - a. Tinggi h .
 - b. Tekanan di dasar tangki AB.
 - c. Tekanan absolut udara di atas tangki jika tekanan atmosfer lokal 14,7 Psi absolut.



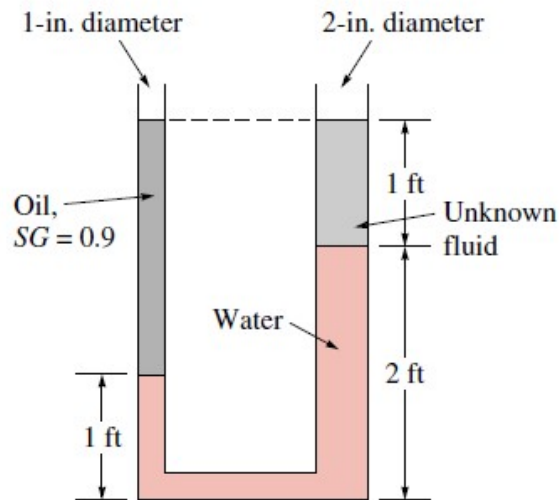
Gambar 1.



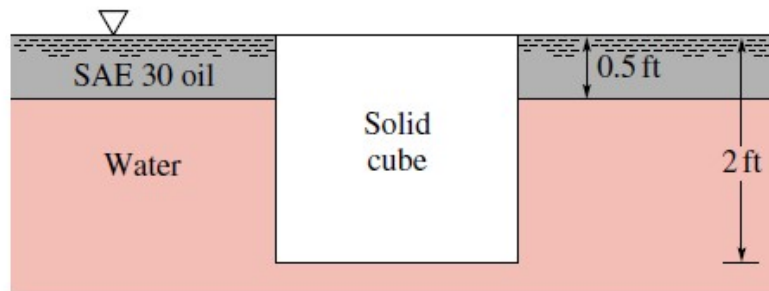
Gambar 2.

3. Sebuah pintu seperti dalam gambar 2 berukuran lebar 4-ft dan panjang 8-ft memiliki berat 800 lbf ditahan oleh sebuah kabel horisontal. Hitunglah tegangan kabel pada saat pintu tersebut menahan air.

4. Sebuah tabung vertikal berisi oli, air dan fluida yang tidak diketahui seperti pada gambar 3. Berapa berat jenis dari fluida yang tidak diketahui tersebut?



Gambar 3.



5. Sebuah balok pejal mengambang di permukaan air dengan bagian tercelup sedalam 1,5 ft. Bagian atas balok tercelup ke dalam oli sedalam 0,5 ft. Tentukan berat balok itu.

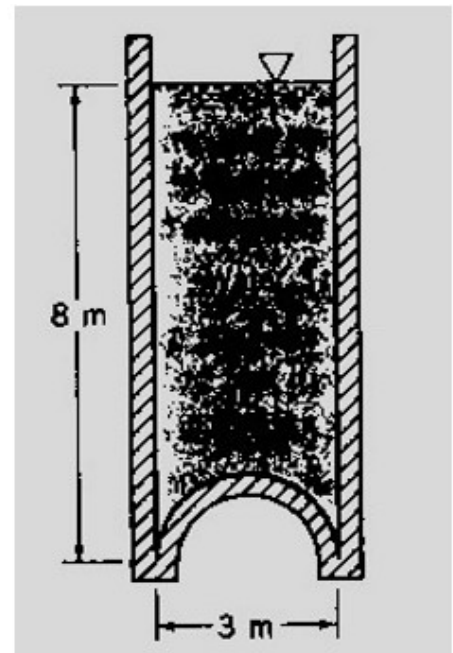
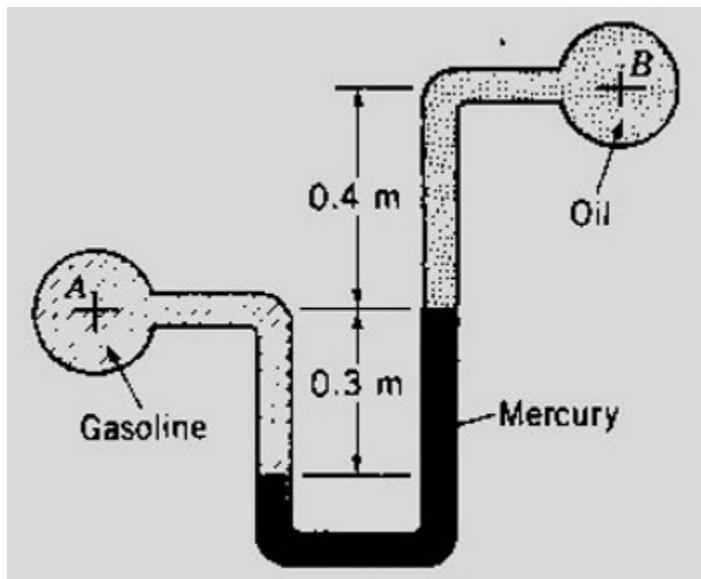
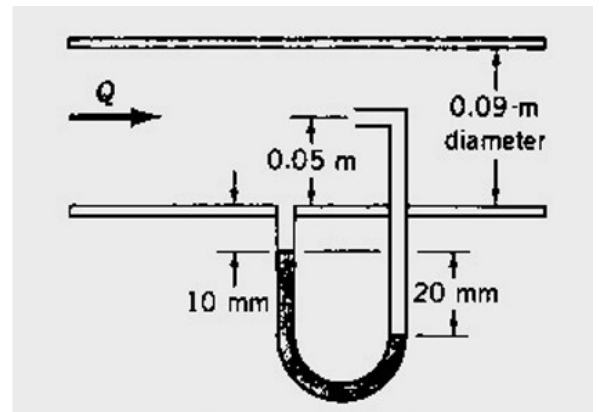
--- Selamat Bekerja ---

UJIAN TENGAH SEMESTER GANJIL 2018/2019

Matakuliah: Mekanika Fluida I
Kelas: A
Dosen: Ir. Toto Supriyono, MT.
Sifat Ujian: Buka buku diktat,
Tutup Buku, Catatan, Laptop, Handphone

Selesaikan semua soal berikut ini secara sistematis, sesuai metodologi penyelesaian persoalan yang pernah dipelajari.

1. Spesifik gravitasi fluida manometer pada gambar disamping adalah 1.07. Tentukan besar laju aliran Q jika fluida yang mengalir adalah air.
2. Tangki silinder terbuka berdiameter 3 m mempunyai bagian dasar berbentuk setengah bola. Tentukan besar dan arah gaya yang bekerja pada bagian dasar tangki.
3. Pada gambar di bawah ini, pipa A berisi gasoline dengan $SG = 0.7$, pipa B berisi oil dengan $SG = 0.9$ dan cairan manometer merkuri. Tentukan pembacaan beda tekanan yang baru jika tekanan dalam pipa A berkurang 25 kPa dan tekanan dalam pipa B tetap konstan. Pembacaan awal adalah 0.3 m.



SELAMAT BEKERJA



Nama :

NPM :

Ujian Tengah Semester, Semester Ganjil 2017-2018

Mata Ujian / Kelas: Mekanika Fluida Dasar

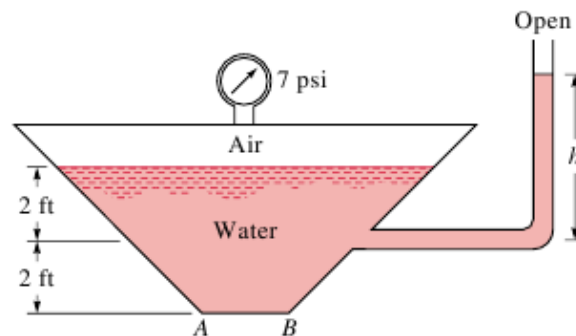
Waktu: 90 menit

Sifat Ujian: Buka "cheat sheet"

Dosen: Toto Supriyono dan Hery Sonawan

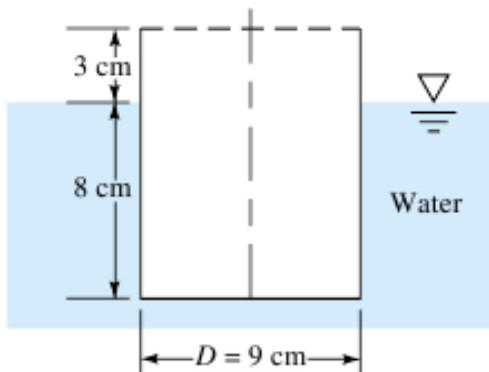
Jawab soal-soal berikut ini.

1. Tangki tertutup dalam gambar 1 diisi dengan air. Tekanan terbaca pada pressure gage adalah 7 psi. Tentukan: (a). tinggi h , (b). tekanan di dasar tangki, (c). tekanan mutlak udara di dalam tangki, jika tekanan atmosfer 14,7 psi.

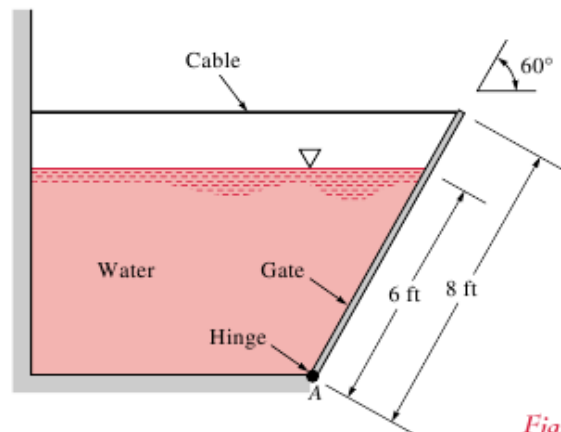


Gambar 1.

2. Sebuah cawan seperti dalam gambar 2 mengapung di permukaan oli (sg 0,8). Berapa berat cawan ini dalam satuan Newton.



Gambar 2.



Gambar 3.

3. Sebuah pintu persegi berukuran panjang 8 ft dan lebar 4 ft memiliki berat 800 lbf ditahan oleh sebuah kabel fleksibel horisontal seperti dalam gambar 3. Air memberikan tekanan pada pintu yang diengsel pada titik A. Gesekan di engsel A diabaikan. Hitunglah gaya tarik pada kabel.



Nama :

NPM :

Ujian Tengah Semester, Semester Ganjil 2016-2017

Mata Ujian / Kelas : Mekanika Fluida Dasar

Waktu : 90 menit

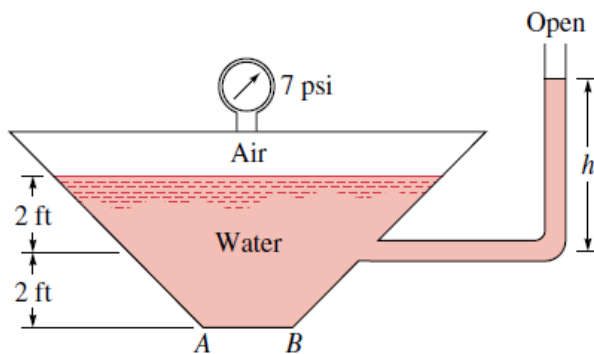
Sifat Ujian : Bekerja Sendiri dan Tutup Buku

Dosen : Team Dosen

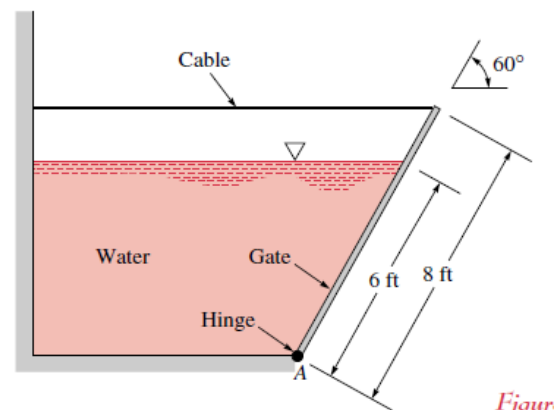
Jawab pada lembar soal yang disediakan. Jawaban yang baik adalah apabila selalu menyertakan satuan.

Kerjakan semua soal berikut :

1. Sebatang pipa kapiler berdiameter 1mm dicelupkan tegak lurus ke dalam zat cair yang masa jenisnya 400 kg/m^3 . Tegangan permukaannya adalah $0,25 \text{ N/m}$ dan sudut kontaknya 60° . Berapa kenaikan zat cair dalam pipa kapiler tersebut ?
2. Tangki seperti dalam gambar 1 diisi dengan air. Pressure gauge di atas tangki membaca tekanan 7 Psi. tentukan:
 - a. Tinggi h .
 - b. Tekanan di dasar tangki AB.
 - c. Tekanan absolut udara di atas tangki jika tekanan atmosfer lokal $14,7 \text{ Psi}$ absolut.



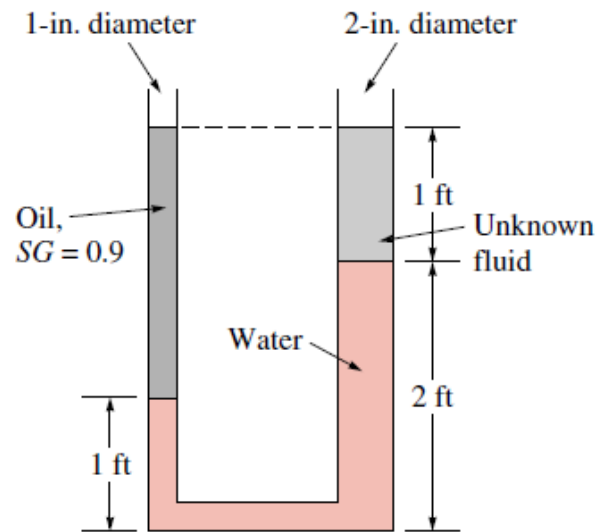
Gambar 1.



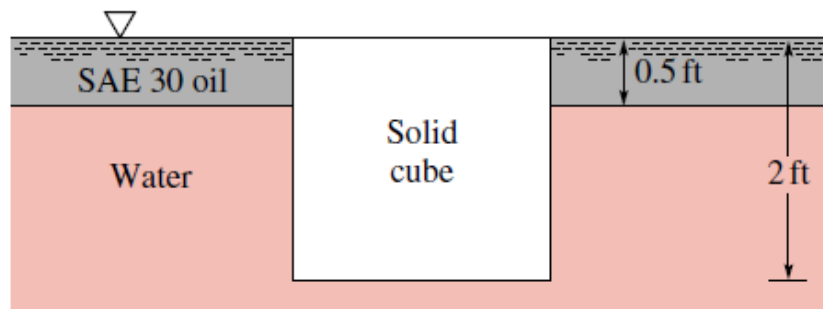
Gambar 2.

3. Sebuah pintu seperti dalam gambar 2 berukuran lebar 4-ft dan panjang 8-ft memiliki berat 800 lbf ditahan oleh sebuah kabel horisontal. Hitunglah tegangan kabel pada saat pintu tersebut menahan air.

4. Sebuah tabung vertikal berisi oli, air dan fluida yang tidak diketahui seperti pada gambar 3. Berapa berat jenis dari fluida yang tidak diketahui tersebut?



Gambar 3.



5. Sebuah balok pejal mengambang di permukaan air dengan bagian tercelup sedalam 1,5 ft. Bagian atas balok tercelup ke dalam oli sedalam 0,5 ft. Tentukan berat balok itu.

--- Selamat Bekerja ---



Nama :

NPM :

Ujian Tengah Semester, Semester Ganjil 2015-2016

Mata Ujian / Kelas : Mekanika Fluida Dasar

Waktu : 90 menit

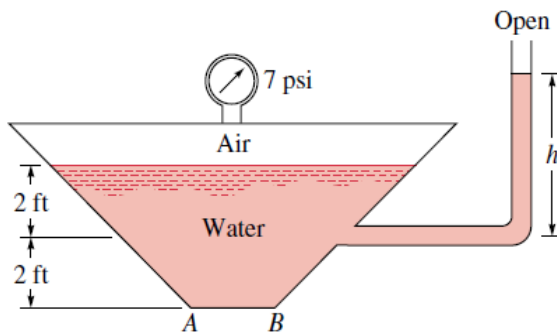
Sifat Ujian : Bekerja Sendiri dan Tutup Buku

Dosen : Team Dosen

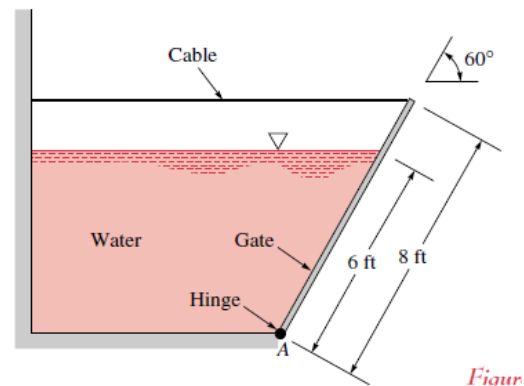
Jawab pada lembar soal yang disediakan. Jawaban yang baik adalah apabila selalu menyertakan satuan.

Kerjakan 3 dari 6 soal berikut :

1. Sebatang pipa kapiler berdiameter 1mm dicelupkan tegak lurus ke dalam zat cair yang masa jenisnya 400 kg/m^3 . Tegangan permukaannya adalah $0,25 \text{ N/m}$ dan sudut kontaknya 60° . Berapa kenaikan zat cair dalam pipa kapiler tersebut ?
2. Tangki seperti dalam gambar 1 diisi dengan air. Pressure gauge di atas tangki membaca tekanan 7 Psi. tentukan:
 - a. Tinggi h .
 - b. Tekanan di dasar tangki AB.
 - c. Tekanan absolut udara di atas tangki jika tekanan atmosfer lokal 14,7 Psi absolut.



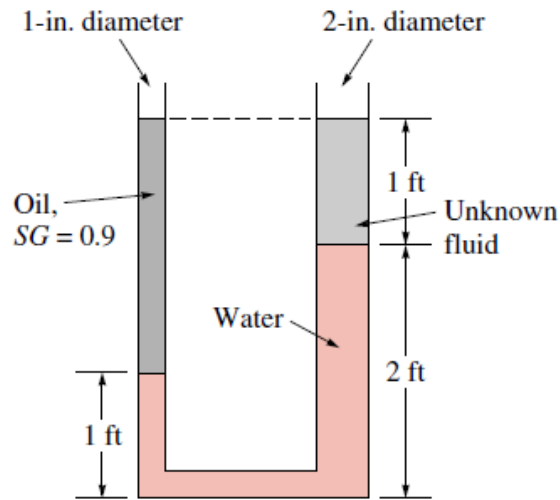
Gambar 1.



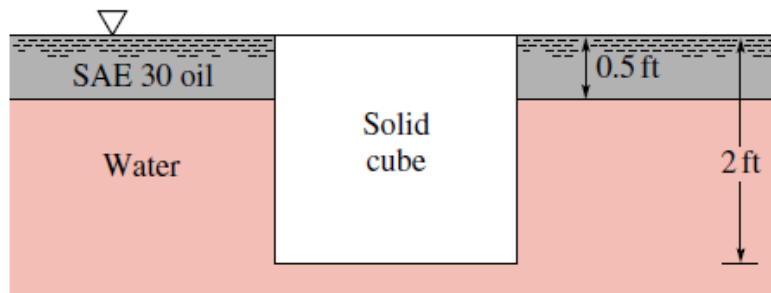
Gambar 2.

3. Sebuah pintu seperti dalam gambar 2 berukuran lebar 4-ft dan panjang 8-ft memiliki berat 800 lbf ditahan oleh sebuah kabel horisontal. Hitunglah tegangan kabel pada saat pintu tersebut menahan air.

4. Sebuah tabung vertikal berisi oli, air dan fluida yang tidak diketahui seperti pada gambar 3. Berapa berat jenis dari fluida yang tidak diketahui tersebut?



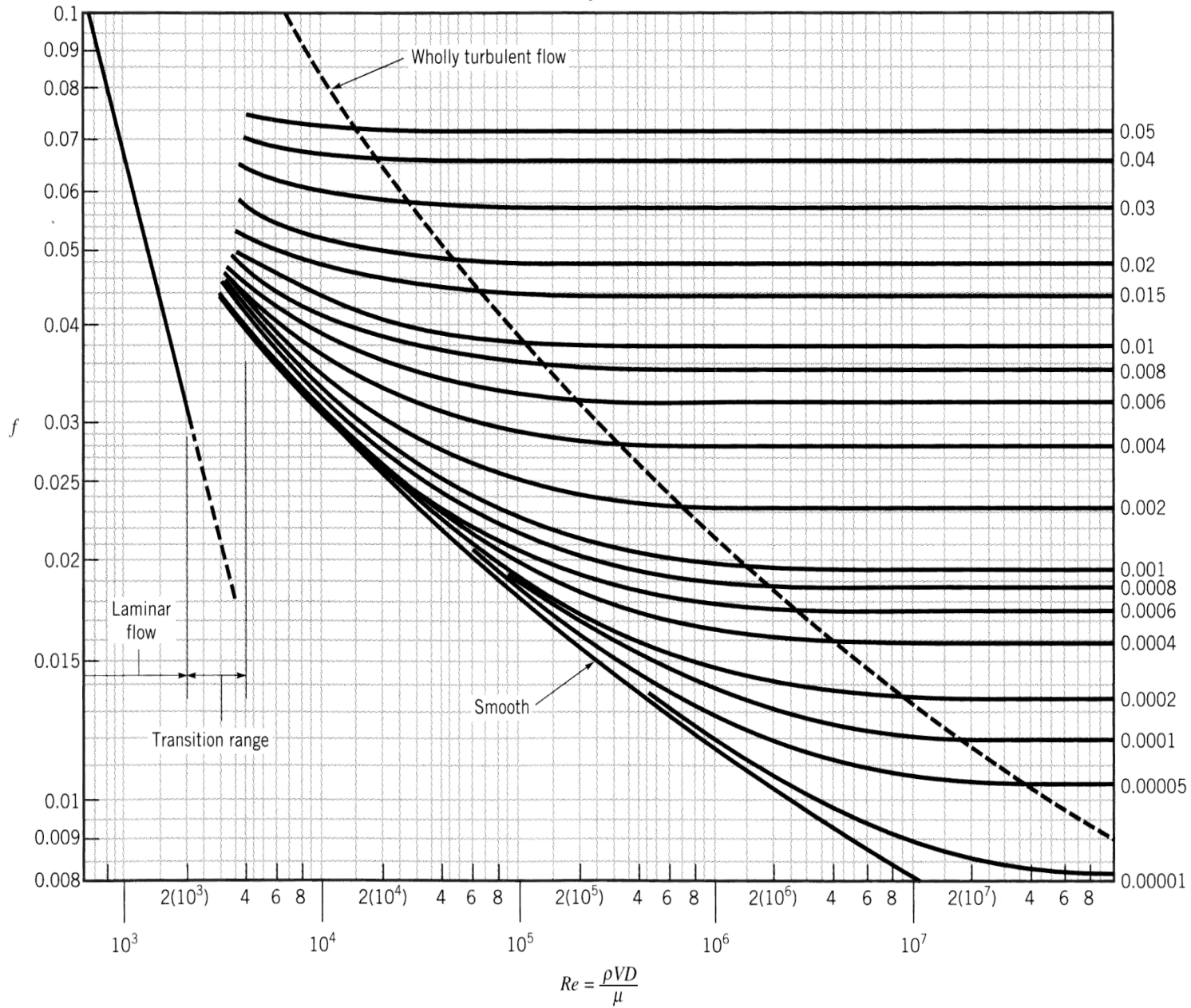
Gambar 3.



5. Sebuah balok pejal mengambang di permukaan air dengan bagian tercelup sedalam 1,5 ft. Bagian atas balok tercelup ke dalam oli sedalam 0,5 ft. Tentukan berat balok itu.

--- Selamat Bekerja ---

Moody chart



Equivalent Roughness for New Pipes

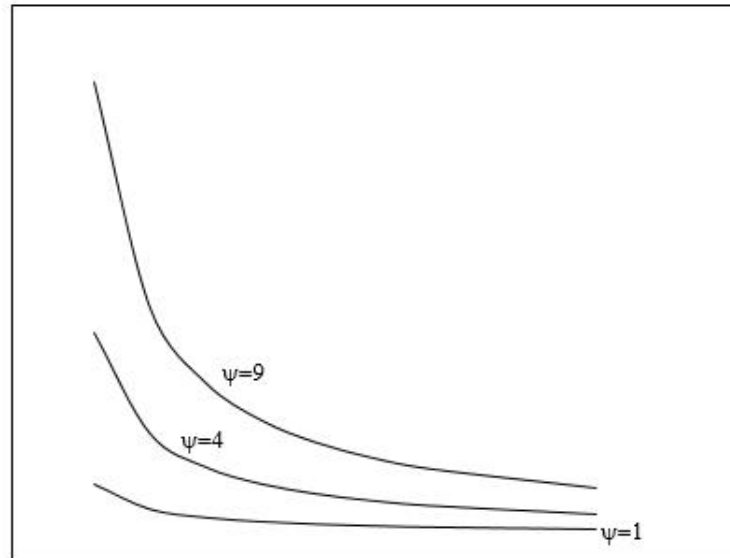
Pipe	Equivalent Roughness, ϵ	
	Feet	Millimeters
Riveted steel	0.003-0.03	0.9-9.0
Concrete	0.001-0.01	0.3-3.0
Wood stave	0.0006-0.003	0.18-0.9
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Commercial steel or wrought iron	0.00015	0.045
Drawn tubing	0.000005	0.0015
Plastic, glass	0.0 (smooth)	0.0 (smooth)

$\frac{\epsilon}{D}$

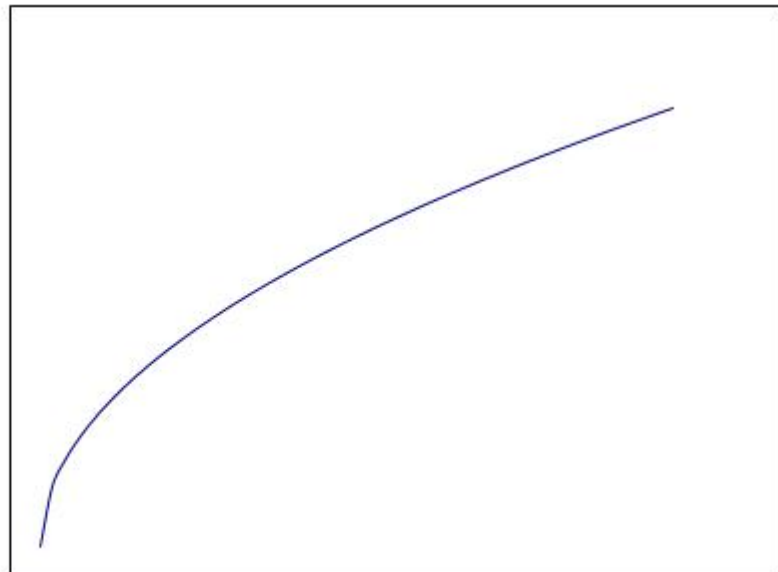
Friction factor as a function of Reynolds number and relative roughness for round pipes.

STREAMLINE

	1	4	9
0,1	10	40	90
0,2	5	20	45
0,3	3,333333	13,33333	30
0,4	2,5	10	22,5
0,5	2	8	18
0,6	1,666667	6,666667	15
0,7	1,428571	5,714286	12,85714
1	1	4	9



x	y
0	0
1	1,414214
2	2
3	2,44949
4	2,828427
5	3,162278
6	3,464102
7	3,741657
8	4
9	4,242641
10	4,472136
11	4,690416
12	4,898979
13	5,09902
14	5,291503
15	5,477226
16	5,656854
17	5,830952



Halaman ini sengaja dikosongkan