

LECTURE NOTES

MEKANIKA FLUIDA (SFM-333)

Denny Darmawan, M.Sc.
[\(darmawan@uny.ac.id\)](mailto:darmawan@uny.ac.id)

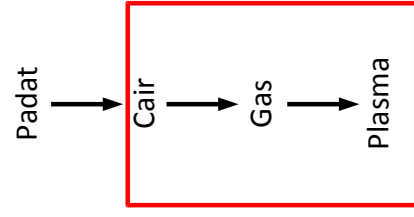
**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA & ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Mekanika Fluida:

Statika Fluida
Dinamika Fluida
Kinematika Fluida

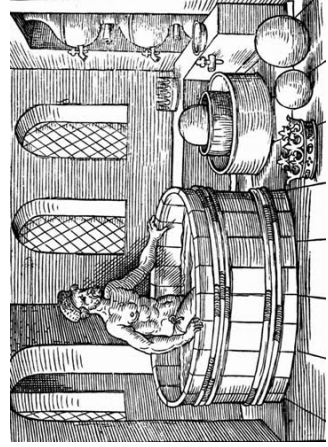
Fluida?

Padat → Cair → Gas → Plasma



Pelopor

Archimedes

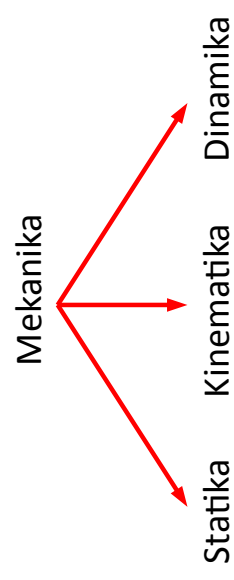


Mekanika Fluida

(SFM333/PFD334 – 3 sks)

Ch. 0

Mekanika ?



Torricelli



Pascal



Newton

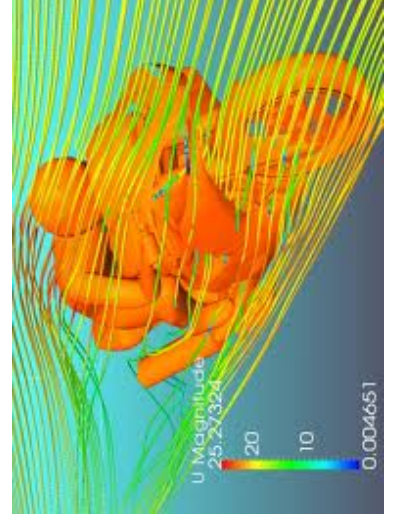


Bernoulli

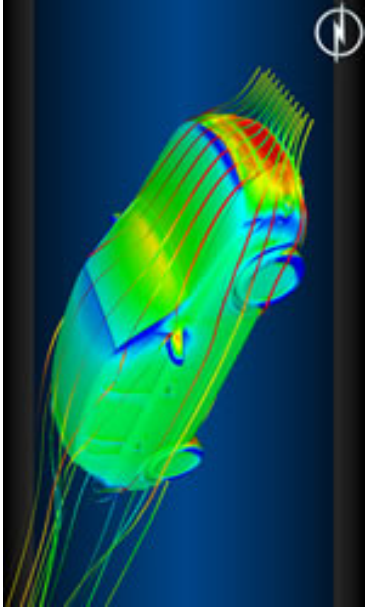


1700 – 1782

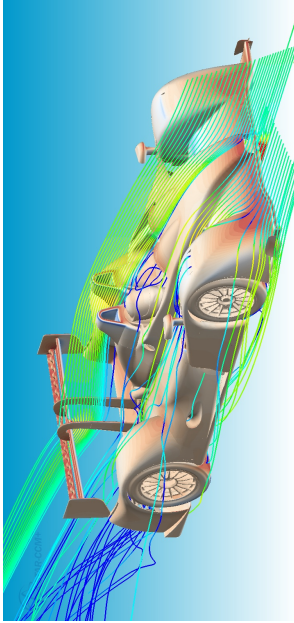
Aplikasi?



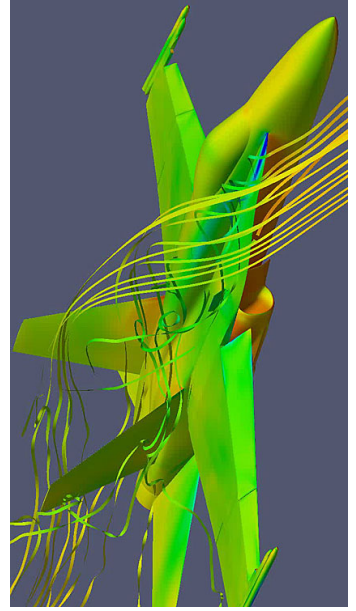
oms.mecheng.strath.ac.uk



alentechinc.com



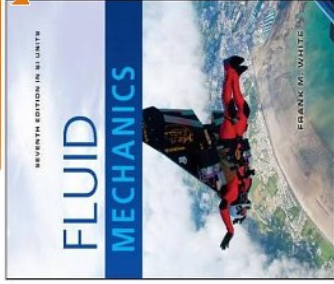
aotech.com



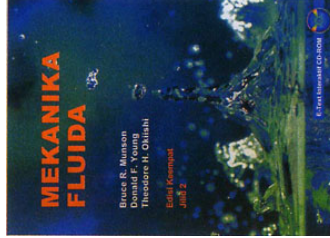
ruag.com

Referensi:

Click to **LOOK INSIDE!**

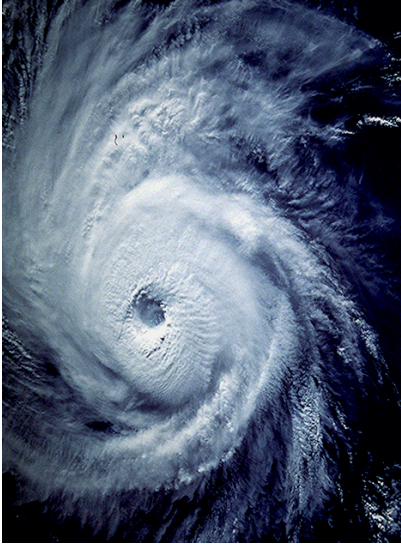


Referensi Lain:



Evaluasi:

- 30% Tugas/Quiz
- 30% UTS
- 40% UAS



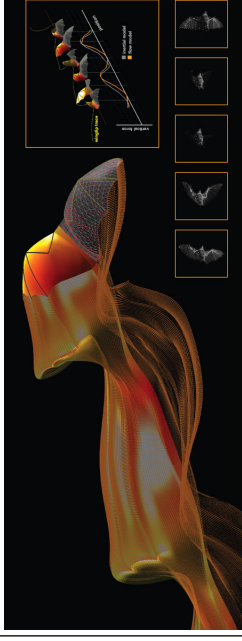
Typhoon Odessa (1985) – stanford.edu



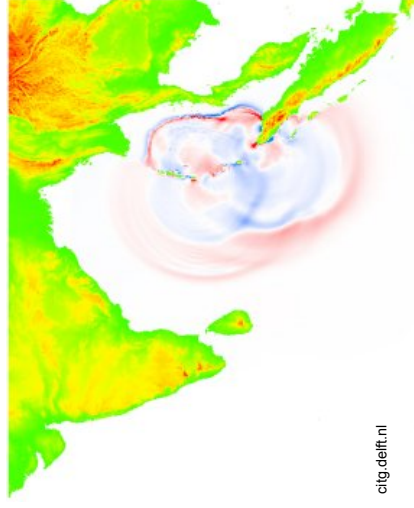
M101 – myspaceccdn.com



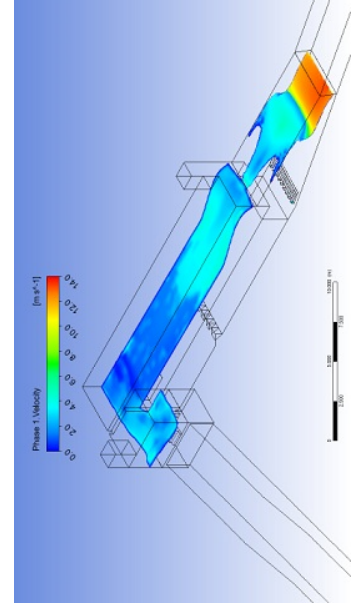
Andy Bufferler



Bat Flight – americanscientist.org



ctg.delft.nl



Flood Simulation – capitasymonds.com

Q?

Mekanika Fluida

(SFM333/PFD334 – 3 sks)

Ch. 1



Konsep Fluida

1

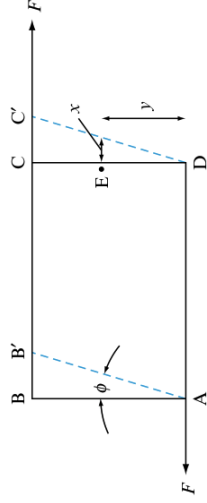
Fluida → tidak mampu menahan gaya pendeformasi

Fluida → tidak mampu menahan gaya pendeformasi

Padat → mampu menahan gaya pendeformasi

Fluida akan **mengalir** (mengalami deformasi terus-menerus) selama gaya pendeformasi bekerja

Deformasi disebabkan oleh **gaya geser (shear)**



1

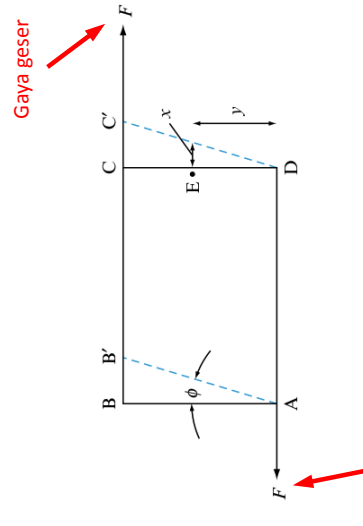
Fluida awalnya diam

1

Jika fluida diam



tidak ada gaya geser



1

Fluida awalnya diam

2

partikel fluida saling bergerak relatif
(memiliki kecepatan berbeda)



Jika fluida diam



tidak ada gaya geser



semua gaya yang bekerja
tegak lurus
bidang yang dikenai gaya

1

Fluida awalnya diam

2

partikel fluida saling bergerak relatif
(memiliki kecepatan berbeda)



Jika fluida diam



tidak ada gaya geser



semua gaya yang bekerja
tegak lurus
bidang yang dikenai gaya

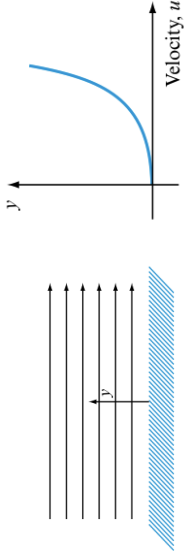
3

muncul tegangan geser

Fluida:

- ✓ zat yang mengalami deformasi secara terus menerus
- ✓ selama dikenai gaya geser (seberapa pun kecilnya)

Jika fluida diam



→ kecepatan fluida bervariasi untuk setiap lapisan yang sejajar *boundary*

②

③

Tegangan Geser

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

Fluida yang bersentuhan dengan dinding batas (*boundary*) memiliki kecepatan sama dengan dinding batas tersebut

Fluida yang bersentuhan dengan dinding batas (*boundary*) memiliki kecepatan sama dengan dinding batas tersebut
→ ada variasi kecepatan fluida

Fluida awalnya diam

②
①

Fluida awalnya diam
→ partikel fluida bergerak dengan kecepatan sama

①
②

Fluida awalnya diam
→ partikel fluida bergerak dengan kecepatan sama
→ tegangan geser **tidak muncul**

①
②
③

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

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

Tegangan geser
 viskositas dinamis
 Laju strain geser

Hukum Newton untuk Viskositas

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

Pada zat padat,
 untuk satu nilai τ ,
 ϕ selalu tetap

→ mampu menahan tegangan geser

Pada fluida,
 ϕ meningkat terhadap waktu
 → fluida mengalir

Secara eksperimen:

Laju strain geser \approx tegangan geser

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

Shear stress
 Gaya yang bekerja pada bidang fluida
 Luas bidang fluida

Deformasi dinyatakan oleh strain geser ϕ

Deformasi sebanding dengan tegangan geser

Padat:
Deformasi lenyap ketika gaya dihilangkan

Padat:
Deformasi lenyap ketika gaya dihilangkan

Fluida:
✓ Terus mengalir selama gaya diberikan

Padat:
Deformasi lenyap ketika gaya dihilangkan

Fluida:
✓ Terus mengalir selama gaya diberikan
✓ Tidak kembali ke bentuk semula ketika gaya dihilangkan

Padat vs Fluida

Padat:
Strain merupakan fungsi tegangan

Padat:
Strain merupakan fungsi tegangan

Fluida:
Laju strain berbanding lurus dengan tegangan

Fluida yang memenuhi Hukum Newton untuk viskositas disebut **fluida Newtonian**

Fluida yang memenuhi Hukum Newton untuk viskositas disebut **fluida Newtonian**

↳ jika viskositas = 0 → **fluida ideal**

4

Kerapatan

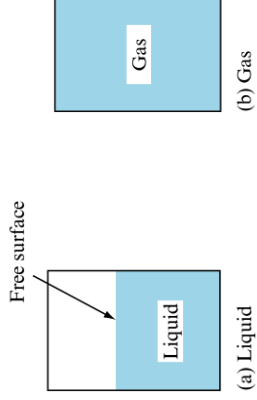
→ banyaknya zat yang terkandung dalam satuan volum zat

① Rapat massa

→ massa zat per satuan volum

Rapat massa pada suatu titik

→ massa δm dari volum kecil δV yang mengelilingi titik tersebut



Cair vs Gas

Cair:

Tidak dapat dimampatkan (*incompressible*)

Gas:

Dapat dimampatkan (*compressible*)

Cair:

Punya permukaan bebas
(jika volum cairan < volum wadah)

Gas:

- ✓ Tidak punya permukaan bebas
- ✓ Tidak punya volum tetap, mengisi seluruh wadah

⑤

Sifat-sifat fluida

$$SG = \frac{\rho_{\text{zat}}}{\rho_{\text{air-4C}}}$$

Air = 1
Minyak = 0,9

$$\gamma = \rho g$$

Air = 9810 N/m³
Udara = 12,07 N/m³

Agar konsep kontinyu berlaku:

δV harus lebih besar dari x^3
 $x \gg$ jarak rerata antar molekul

Viskositas

Fluida diam

③ Rapat relatif
(gravitasi jenis, **SG** = *specific gravity*)
→ rasio rapat massa zat
dengan rapat massa standard

Rapat massa standard:

Rapat massa maximum dari air
(terjadi pada suhu 4° C, 1 atm)

$$\rho = \lim_{\delta V \rightarrow x^3} \frac{\delta m}{\delta V}$$

Rapat massa air = 1000 kg/m³
Rapat massa udara = 1,23 kg/m³

② Berat jenis

→ berat per satuan volum

→ bergantung pada besarnya percepatan gravitasi

Viskositas kinematik

→ rasio viskositas dinamik terhadap rapat massa

$$\nu = \mu / \rho$$

Satuan: $\text{m}^2/\text{s} \rightarrow 10^4$ stoke (St)

Air = $1,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Udara = $1,46 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Viskositas pada gas

Besar tegangan geser pada arah x:

$$\tau_x = \mu \frac{dv_x}{dy}$$

Koefisien viskositas dinamik

→ gaya geser per satuan luas yang diperlukan untuk menggeser satu lapisan fluida melewati lapisan lain dengan satu satuan kecepatan sejauh satu satuan jarak

$$\mu = \tau / \frac{dv}{dy} = \frac{\text{gaya} \times \text{waktu}}{\text{luas}}$$

Satuan: $\text{kg} / \text{m} \cdot \text{s} \rightarrow 10$ poise (P)

Air = $0,00114 \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{s}$

Udara = $1,78 \times 10^{-5} \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{s}$

Fluida diam



Gaya geser bekerja pada fluida yang bersentuhan dengan dinding padat

Fluida diam



Gaya geser bekerja pada fluida yang bersentuhan dengan dinding padat



Fluida mengalir dengan kecepatan bervariasi

Fluida diam



Gaya geser bekerja pada fluida yang bersentuhan dengan dinding padat



Fluida mengalir dengan kecepatan bervariasi



Muncul tegangan geser yang melawan gerak, besarnya tergantung pada gradien kecepatan

Gaya yang bekerja pada suatu lapisan

= laju perubahan momentum

= laju pertukaran massa x perubahan kecepatan

$$= k A / dy \, dv$$

Gas yang melewati batas padat (dinding):

Pada jarak y kecepatan v_x

Pada jarak $y + dy$ kecepatan $v_x + dv_x$

Pada gas terjadi pertukaran molekul antar lapisan yang beda kecepatan

→ Molekul berasal dari lapisan lambat memperlambat lapisan cepat

→ Molekul berasal dari lapisan cepat mempercepat lapisan lambat

Besar tegangan geser

$$= F / A = k \, dv / dy$$

Laju pertukaran massa

$$= k A / dy$$

Tetapan
kesebandingan

Luas
lapisan

Besar tegangan geser

$$= F / A = k \, dv / dy$$

→ hukum Newton untuk viskositas!

Pada gas terjadi pertukaran molekul antar lapisan yang beda kecepatan

→ Molekul berasal dari lapisan lambat memperlambat lapisan cepat

Gaya yang bekerja pada suatu lapisan

= laju perubahan momentum

Tekanan naik,
viskositas naik

→ energi yang diperlukan untuk bergerak juga naik

$$\mu_p = \mu_0 \exp[C(p - p_0)]$$

Suhu naik,
gaya kohesif melemah,
laju pertukaran naik
→ viskositas menurun

Tegangan permukaan

$$\mu_T = \frac{\mu_0}{(1 + AT + BT^2)}$$

Molekul pada cairan saling tarik

Viskositas pada 0° C

$$\mu_T = \frac{\mu_0}{(1 + AT + BT^2)}$$

tetapan

Suhu naik, laju pertukaran molekul juga naik
→ viskositas meningkat

Viskositas pada cairan

Viskositas pada cairan:
→ pertukaran molekuler antar lapisan
→ gaya kohesif antar molekul

Tegangan permukaan meminimumkan luas permukaan cairan

Molekul pada cairan saling tarik
→
Sebuah molekul ditarik ke segala arah sama besar

Tegangan permukaan σ
= gaya yang bekerja pada satuan panjang garis yang digambar pada permukaan cairan

Tegangan permukaan meminimumkan luas permukaan cairan
→ tetes cairan cenderung berbentuk sferis

Molekul pada cairan saling tarik
→
Sebuah molekul ditarik ke segala arah sama besar
→
Pada batas cair-udara, tarikan tidak setimbang

Tegangan permukaan σ
= gaya yang bekerja pada satuan panjang garis yang digambar pada permukaan cairan
→ bekerja tegak lurus permukaan dengan besar seragam

Tegangan permukaan meminimumkan luas permukaan cairan
→ tetes cairan cenderung berbentuk sferis
→ tegangan permukaan menaikkan tekanan internal pada tetes (mengimbangi gaya permukaan)

Molekul pada cairan saling tarik
→
Sebuah molekul ditarik ke segala arah sama besar
→
Pada batas cair-udara, tarikan tidak setimbang
→
Tegangan permukaan cairan

Tegangan permukaan berkurang ketika suhu naik

Kapilaritas

Tabung kecil → dicelupkan vertikal ke cairan

Tabung kecil → dicelupkan vertikal ke cairan

Cairan membasahi tabung:
→ permukaan cairan dalam tabung **naik**

Untuk gelembung pada cairan:

Jika tekanan internal > tekanan gas gelembung

Untuk gelembung pada cairan:

Jika tekanan internal > tekanan gas gelembung

→
Gelembung kolaps

Ex. : gaya yang bekerja pada bidang lingkaran dalam tetes sferis cairan berjajari r

Ex. : gaya yang bekerja pada bidang lingkaran dalam tetes sferis cairan berjajari r

→ gaya akibat tekanan internal = $p \pi r^2$

→ gaya akibat tegangan permukaan pada batas tetes = $2\pi r \sigma$

Agar setimbang:

$$p \pi r^2 = 2\pi r \sigma$$



$$p = 2\sigma / r$$

Karena nilainya lebih kecil dari gaya yang lain, gaya tegangan permukaan umumnya diabaikan

perubahan tekanan \approx strain volumetrik

$$K = \frac{\text{perubahan tekanan}}{\text{strain volumetrik}}$$

$$K = \frac{\text{perubahan tekanan}}{\text{strain volumetrik}}$$

modulus *bulk*

Kompresibilitas (Ketermampatan)

Semua bahan (padat, cair, gas)
dapat dimampatkan jika dikenai gaya (tekanan)

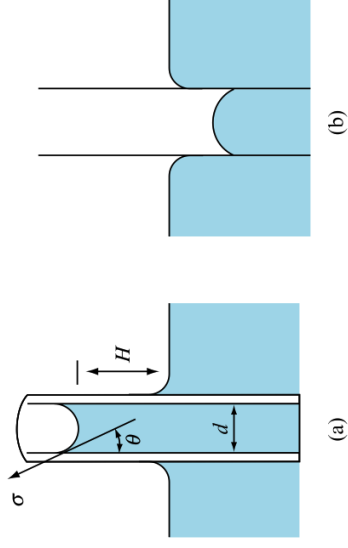
Semua bahan (padat, cair, gas)
dapat dimampatkan jika dikenai gaya (tekanan)

$$V \rightarrow (V - \delta V)_{\text{saat}}$$
$$p \rightarrow (p + \delta p)$$

Tabung kecil \rightarrow dicelupkan vertikal ke cairan

Cairan membasahi tabung:
 \rightarrow permukaan cairan dalam tabung **naik**

Cairan tidak membasahi tabung:
 \rightarrow permukaan cairan dalam tabung **turun**



Tarikan ke atas akibat tegangan permukaan

=

komponen ke atas tegangan permukaan

x

batas tabung

untuk cairan: $\gamma \approx 1$



$K_{\text{adiabatik}} = K_{\text{isotermal}}$

untuk cairan: $\gamma \approx 1$



$K_{\text{adiabatik}} = K_{\text{isotermal}}$

untuk udara: $\gamma \approx 1,4$

untuk air: $K = 2,05 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

untuk minyak $K = 1,62 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

$$K = \rho \frac{dp}{d\rho}$$

K bergantung kerapatan

→ kerapatan bergantung suhu



K bergantung suhu saat dimampatkan

Suhu konstan → isothermal

Tidak ada panas masuk sistem → adiabatik

$$\frac{K_{\text{adiabatik}}}{K_{\text{isotermal}}} = \gamma$$

$$\text{strain volumetrik} = \frac{-\delta V}{V}$$

perubahan volume

$$\text{strain volumetrik} = \frac{-\delta V}{V}$$

volume awal

untuk $\delta p \rightarrow 0$

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

untuk air: $K = 2,05 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

untuk minyak $K = 1,62 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

cairan punya nilai K besar

→ perubahan ρ terhadap ρ kecil

→ cairan dianggap **incompressible**

$$\Sigma \vec{F} = 0 \quad ; \quad \Sigma \vec{\tau} = 0$$

+ definisi fluida statis

→ tidak ada gaya geser yang bekerja

Aturan umum dalam statika berlaku untuk fluida diam (statis)

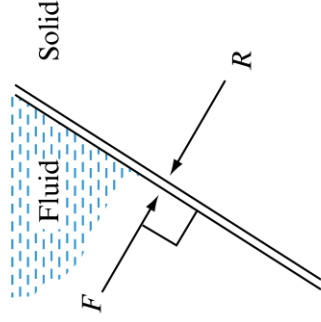
Mekanika Fluida

(SFM333/PFD334 – 3 sks)

Ch. 2

Seluruh gaya yang dilakukan fluida pada batas padat (dinding) selalu tegak lurus batas

$$\Sigma \vec{F} = 0 \quad ; \quad \Sigma \vec{\tau} = 0$$



$$\Sigma \vec{F} = 0 \quad ; \quad \Sigma \vec{\tau} = 0$$

+ definisi fluida statis



1 Fluida Statis

$$\text{tekanan} = \frac{\text{gaya pada bidang}}{\text{luas bidang}}$$

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

syarat: besar gaya konstan di seluruh luasan bidang

Jika terdapat beda nilai F
 → tekanan rerata di suatu titik:

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

elemen gaya

luas mengelilingi titik

Gaya geser akibat viskositas muncul jika ada gerak relatif antar elemen fluida

→

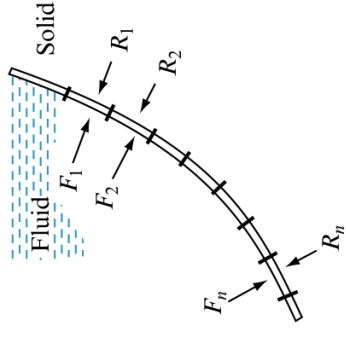
prinsip fluida statis dapat diterapkan pada fluida yang mengalir seragam

② Tekanan

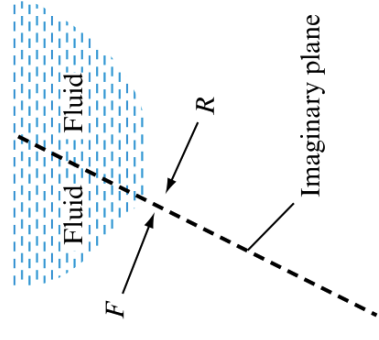
Fluida mengenakan gaya pada *boundary* (sembarang bidang yang digambar pada fluida)

→

batas fluida tak didefinisikan, maka digunakan konsep tekanan



Kasus pada batas melengkung



Kasus pada sembarang bidang dalam fluida

Gaya geser akibat viskositas muncul jika ada gerak relatif antar elemen fluida

→ elemen sangat kecil, dianggap sebagai titik

tekanan pada suatu titik bernilai sama pada semua arah

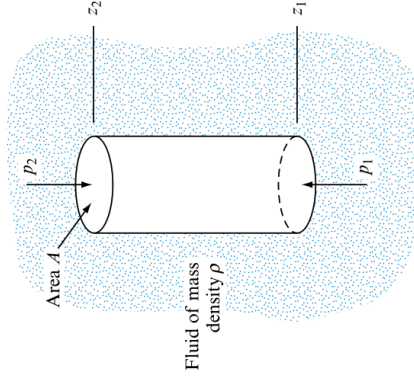
(Hukum Pascal)

→ berlaku pada fluida diam

$$p_s = p_x = p_y$$

→ elemen sangat kecil, dianggap sebagai titik

4 Variasi tekanan pada fluida akibat gravitasi

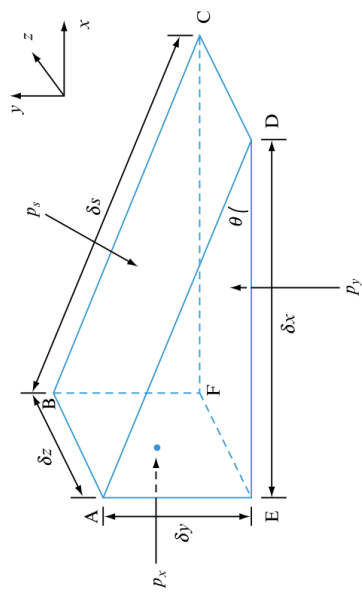


arah vertikal

Untuk $\delta A \rightarrow 0$, tekanan di suatu titik menjadi:

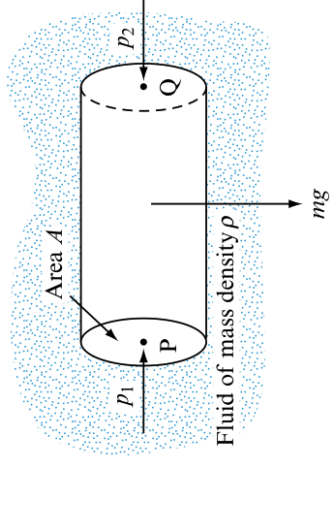
$$p = \lim_{\delta A \rightarrow 0} \frac{\delta F}{\delta A} = \frac{dF}{dA}$$

3 Hukum Pascal untuk Tekanan



$$p_2 - p_1 = - \int_{z_1}^{z_2} \rho g dz$$

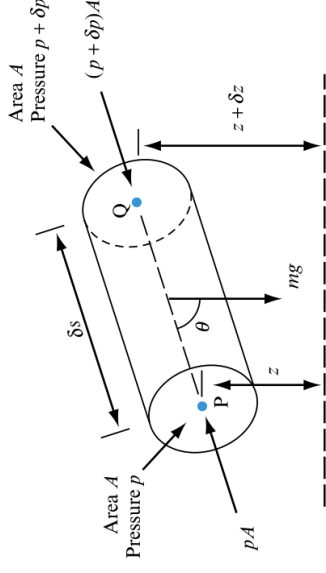
5 Persamaan umum variasi tekanan fluida



arah horizontal

Untuk ρ tetap:

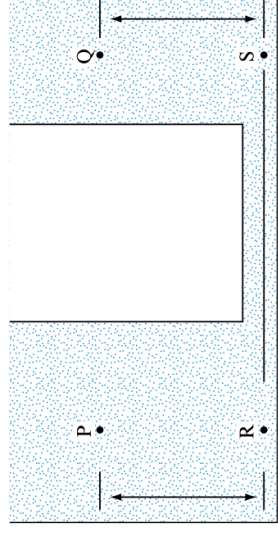
$$\Delta p = \frac{dp}{dz} \Delta z$$



Untuk ρ tetap:

$$\Delta p = \frac{dp}{dz} \Delta z$$

→ pada bidang horizontal ($\Delta z = 0$), besarnya tekanan selalu sama



Tekanan pada level yang sama akan bernilai sama meskipun tidak ada lintasan horizontal langsung antara P & Q selama P & Q berada pada badan fluida yang sama

$$dp = -\rho g dz$$

7 Head & Tekanan

Untuk fluida cair dengan ρ tetap,
pada kedalaman $z = -h$ berlaku

$$\rho = \rho gh + p_{\text{atm}}$$

Tekanan mutlak

= tekanan yang diukur relatif
terhadap tekanan hampa

→ selalu positif

Isotermal:

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

Adiabatik:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left[1 - \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right) \frac{g(z_2 - z_1)}{RT_1} \right]^{\gamma/(\gamma - 1)}$$

Gradien suhu:

$$\frac{dT}{dz} = \frac{(1 - \gamma) g}{\gamma R}$$

Syarat kesetimbangan akibat gravitasi:

- 1 **Tekanan** di semua titik pada bidang horizontal selalu sama
- 2 **Kerapatan** di semua titik pada bidang horizontal selalu sama
- 3 Perubahan tekanan terhadap ketinggian:
$$\frac{dp}{dz} = -\rho g$$

6 Variasi tekanan terhadap ketinggian pada gas

Untuk gas ideal:

$$pV = nRT$$

$$\rightarrow p = \rho RT$$

$$\rightarrow p = \rho / RT$$

⌚ Kesetimbangan Relatif

Jika wadah fluida diberi percepatan
→ tekanan fluida berubah

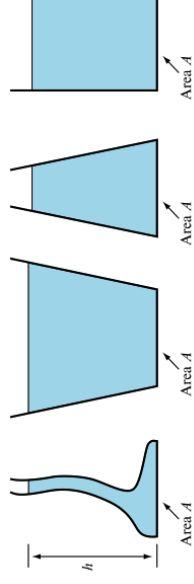
Namun karena fluida tetap dalam wadah

→ Tidak ada gaya geser

→ Tekanan tetap tegak lurus permukaan

→ Kesetimbangan relatif

⌚ Paradoks Hidrostatik



Meski berat fluida berbeda,
gaya yang bekerja pada alas wadah tetap sama
hanya bergantung luas alas dan tinggi fluida

Tekanan ukur

= tekanan yang diukur relatif
terhadap tekanan atmosfer

Tekanan mutlak = tekanan ukur
+ tekanan atmosfer

Jika $p_{\text{atm}} = 0$

$$p = \rho gh$$

→ head (tinggi kolom fluida)

Jika tidak ada percepatan horizontal
 ($a_x = 0 \rightarrow \vartheta = 0$)
 maka permukaan dengan tekanan konstan
 berupa bidang horizontal

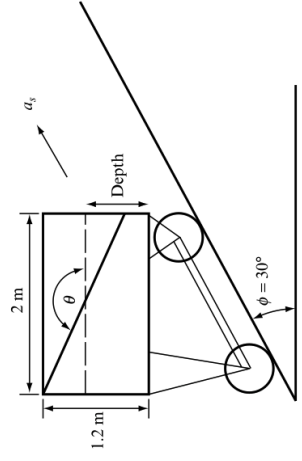
Di ruang dengan $g = 0$ maka $\tan \vartheta = -a_x/a_z$
 = permukaan dengan tekanan konstan
 akan tegak lurus dengan resultan percepatan

Jika fluida dalam wadah berputar
 terhadap sumbu wadah
 dengan kecepatan sudut ω
 percepatan akibat rotasi = $-\omega^2 r$

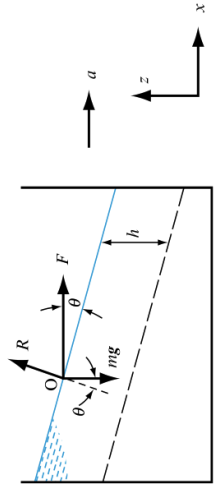
Misal percepatan a_s membentuk sudut ϕ
 terhadap garis horizontal:
 $a_x = a_s \cos \phi$
 $a_y = a_s \sin \phi$

Maka kemiringan free surface dengan garis horizontal:

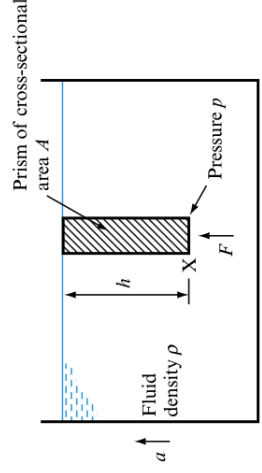
$$\tan \theta = \frac{-a_s \cos \phi}{g + a_s \sin \phi}$$



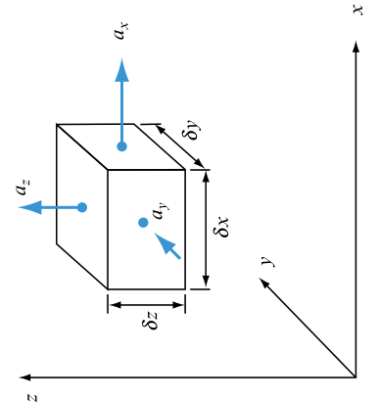
Contoh kasus



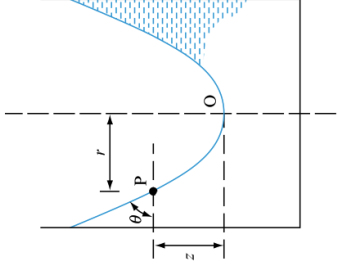
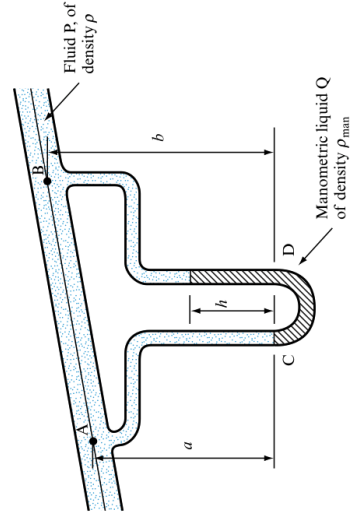
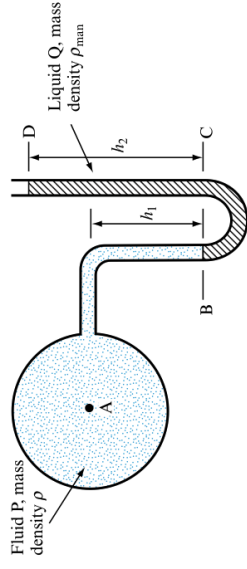
Percepatan horizontal



percepatan vertikal



10 Manometer



$$z = \frac{\omega^2 r^2}{2g} + \text{konstanta}$$

Jika fluida tidak memiliki free surface
 → bentuk paraboloid mewakili free surface imajiner
 → menyatakan bidang dengan tekanan sama

$$p = \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2 + \text{konstanta}$$

Jika permukaan datar,
semua elemen gaya akan sejajar

Mekanika Fluida

(SFM333/PFD334 – 3 sks)

Ch. 3

Jika permukaan datar,
semua elemen gaya akan sejajar
→
dapat diwakili oleh gaya tunggal (**gaya resultan**)



Archimedes of Syracuse
(287 BC – 212 BC)

Jika permukaan datar,
semua elemen gaya akan sejajar
→ →
dapat diwakili oleh gaya tunggal (**gaya resultan**)
bekerja tegak lurus pada boundary
tepat di titik **pusat tekanan**

Gaya oleh tekanan p pada elemen luas δA
 $\delta F = p \delta A$

Untuk fluida statis,
gaya tegak lurus boundary (permukaan)

Tekanan fluida bervariasi
sepanjang arah vertikal

➊ Gaya Resultan & Pusat Tekanan

Gaya resultan:

$$F_R = \int \rho g y \delta A = \rho g \int y \delta A = \rho g \bar{y} A$$

Kedalaman titik berat
(centroid)

Luas bidang
yang tenggelam

momen F_R terhadap O
 $= \int \text{momen setiap } \rho \delta A \text{ terhadap O}$

Kedalaman pusat tekanan:

$$D = \frac{I_0 \sin^2 \phi}{A \bar{y}}$$

Pada permukaan horizontal,
tekanan p sama di seluruh boundary

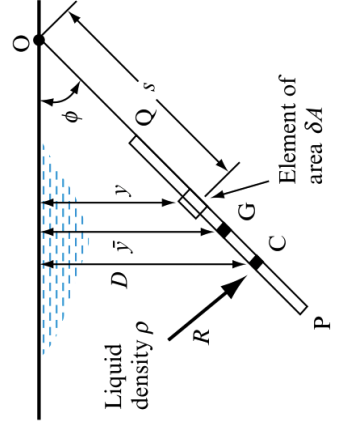
$$\text{Gaya resultan} = F_R = \int p \delta A$$

Pada permukaan horizontal,
tekanan p sama di seluruh boundary

Untuk luas A $\rightarrow F_R = pA$, tegak lurus permukaan

Titik pusat tekanan tepat menyentuh
titik pusat massa (centroid)

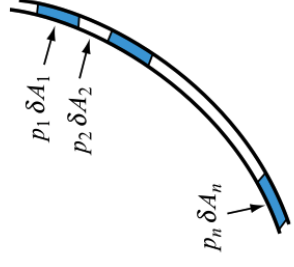
Untuk permukaan miring:



Jika permukaan melengkung,
setiap elemen gaya tegak lurus elemen luas

Semua elemen gaya tidak sejajar

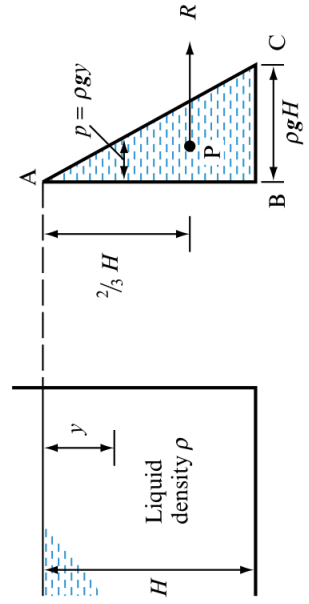
Gaya resultan ditentukan dari komponennya
dan $F_R < \int p \delta A$



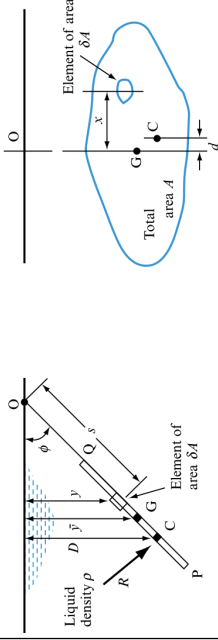
🌀 Diagram (Prisma) Tekanan

Gaya resultan dan pusat tekanan dapat ditentukan secara grafik

→ dihitung dari gaya horizontal per satuan panjang



Penentuan posisi lateral pusat tekanan:

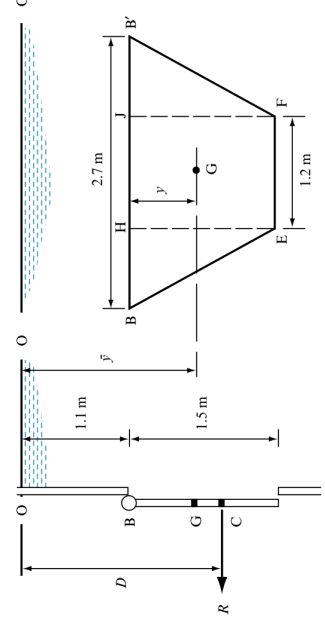


→ dihitung dari momen terhadap garis OG

$$d = \frac{\sum \delta A y x}{A \bar{y}}$$

Jika permukaannya simetris, pusat tekanan di sumbu simetri ($d = 0$)

Contoh:



Teorema sumbu sejajar:

$$I_0 = I_G + A \left(\frac{\bar{y}}{\sin \phi} \right)^2$$

I_G → tabel 3.1

Kedalaman pusat tekanan:

$$D = \frac{I_G \sin^2 \phi}{A \bar{y}} + \bar{y}$$

Pusat tekanan selalu di bawah titik berat (centroid) kecuali jika permukaannya horizontal ($\phi = 0$)

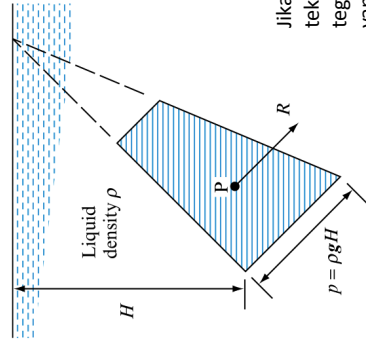
Jika kedalaman meningkat, pusat tekanan mendekati ke titik berat (centroid)

Gaya resultan per satuan panjang

=

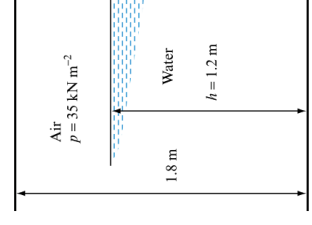
luas prisma tekanan

→ bekerja pada *centroid* luasan prisma

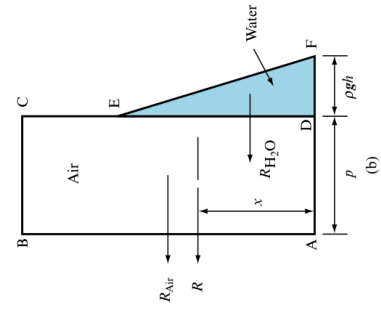


Jika permukaan miring, tekanan digambarkan tegak lurus permukaan yang tenggelam

Contoh:



(a)



(b)

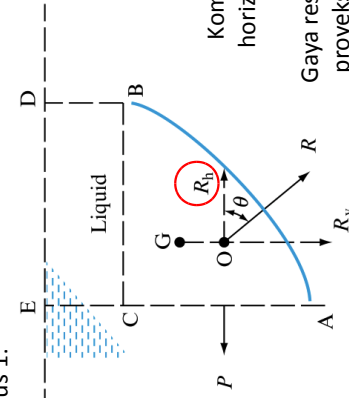
3 Gaya Resultan pada Permukaan Melengkung

Jika permukaan melengkung

Elemen gaya pada elemen-elemen luasan tidak saling sejajar

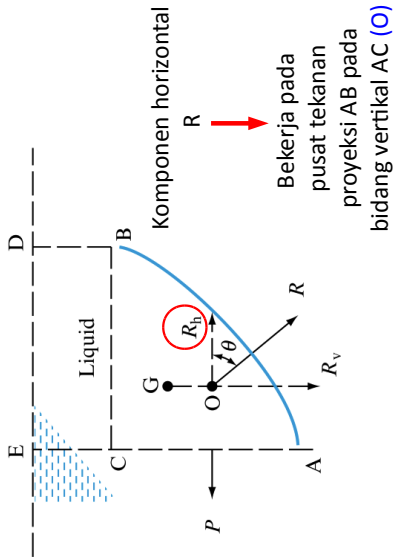
Dijumlahkan secara vektor

Kasus 1:



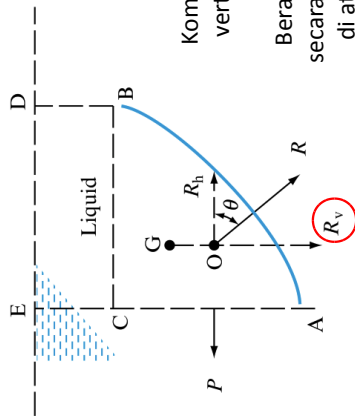
Komponen horizontal R = Gaya resultan pada proyeksi AB pada bidang vertikal (AC)

Kasus 1:



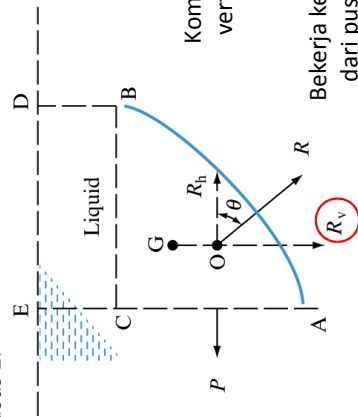
Komponen horizontal R → Bekerja pada pusat tekanan proyeksi AB pada bidang vertikal AC (O)

Kasus 1:



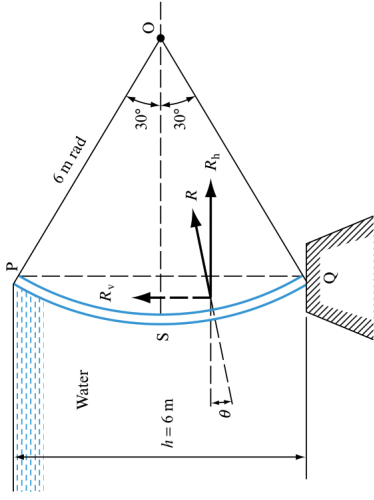
Komponen vertikal R = Berat fluida secara vertikal di atas AB (berat ABDE)

Kasus 1:



Komponen vertikal R → Bekerja ke arah bawah dari pusat gravitasi bidang ABDE (G)

Contoh:

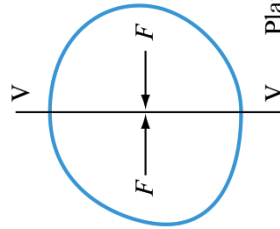


4 Gaya Apung

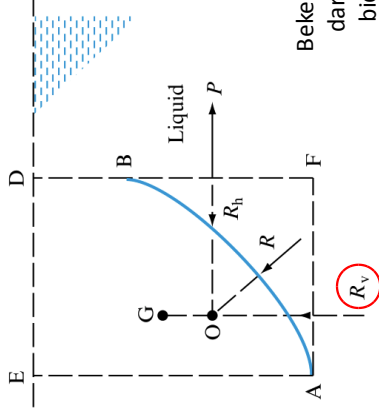
Proyeksi luas dari benda terhadap bidang vertikal VV' untuk kedua sisi akan sama

Gaya akibat tekanan pada kedua sisi bernilai sama dan berlawanan

Gaya resultan arah horizontal bernilai nol



Kasus 2:



Komponen vertikal R
Bekerja ke arah bawah dari pusat gravitasi bidang ABDE (G)

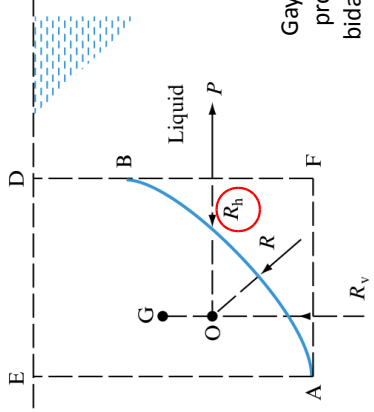
Komponen gaya tidak selalu bertemu di satu titik sehingga tidak bisa dijumlahkan

Pada kasus dapat dijumlahkan (bertemu di satu titik) :

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2}$$

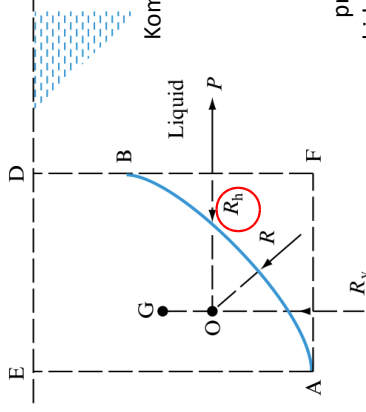
$$\operatorname{tg} \theta = \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}}$$

Kasus 2:



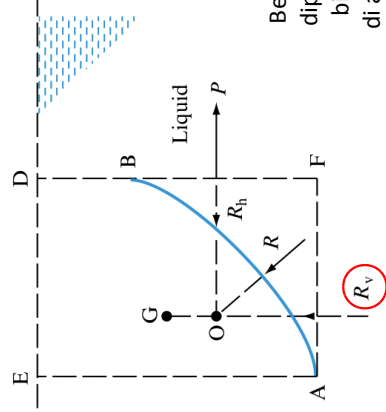
Komponen horizontal R = Gaya resultan pada proyeksi AB pada bidang vertikal (BF)

Kasus 2:



Komponen horizontal R
Bekerja pada pusat tekanan proyeksi AB pada bidang vertikal BF (O)

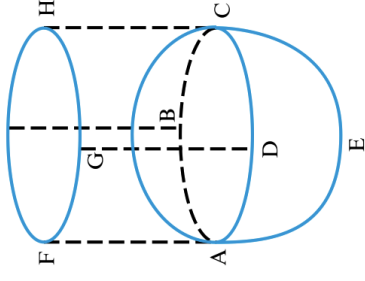
Kasus 2:



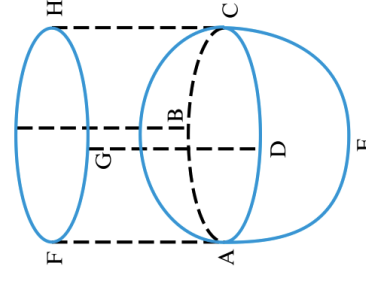
Komponen vertikal R = Berat fluida yang dipindahkan oleh bidang vertikal di atas AB (ABDE)

Gaya yang dikenakan fluida pada benda hanya pada arah vertikal

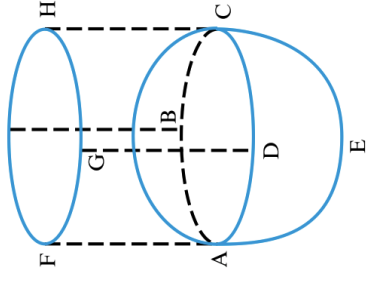
→ **Gaya Apung (Angkat)**



Gaya apung = gaya arah atas pada bawah permukaan ADEC - gaya arah bawah pada atas permukaan ABCD



Gaya apung = berat volum fluida AECDFGH - berat volum fluida ABCDGFH



Gaya apung = berat volum fluida ABCDE

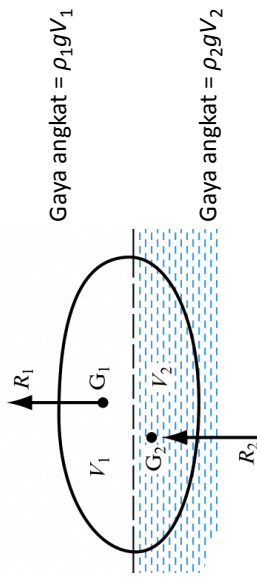
Gaya apung = berat volum fluida yang dipindahkan oleh benda

Gaya apung = berat volum fluida yang dipindahkan oleh benda

→ **Prinsip Archimedes**

Gaya apung bekerja melewati centroid volume fluida yang dipindahkan

= **pusat apung**



Gaya angkat = $\rho_1 g V_1$

Gaya angkat = $\rho_2 g V_2$

Gaya angkat total = $\rho_1 g V_1 + \rho_2 g V_2$

Contoh: *pontoon*



Misal:
berbentuk balok
6 x 12 x 2 m
Tenggelam di air:
1.5 m

Tenggelam di laut?
Beban max?

Jarak antara pusat apung dengan titik metacenter (BM)

= **jejari metacenter**

$$BM = I_0 / V_f$$

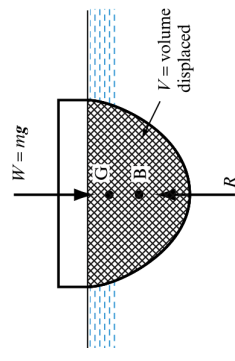
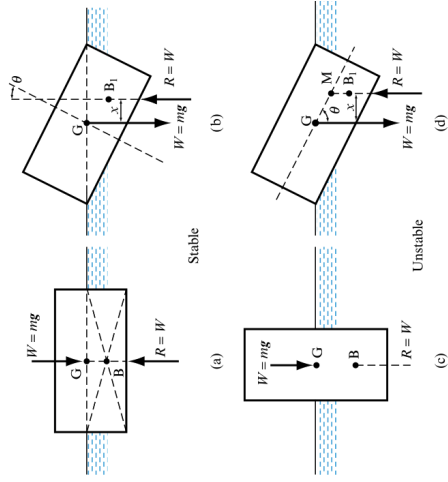
Momen kedua luas permukaan

$$BM = I_0 / V_f$$

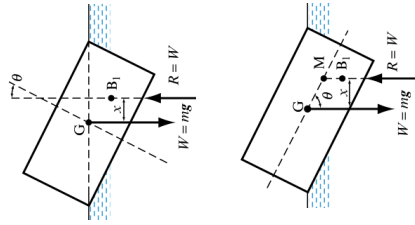
Volum yang terendam dalam fluida

Jejari metacenter

5 Kesetimbangan Benda



Agar setimbang, gaya berat dan gaya apung harus bekerja pada **satu garis** yang sama



Ketika dimiringkan, garis kerja gaya angkat memotong garis vertikal awal yang melewati pusat gravitasi ketika stabil

→ **titik metacenter (M)**

Jika M di atas G, dihasilkan **momen pemulih** → stabil

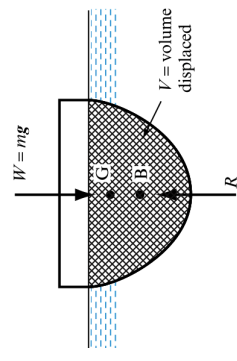
Jika M di bawah G, dihasilkan **momen pengguling** → tidak stabil

Jarak antara M dan G = **tinggi metacenter**

Positif → stabil

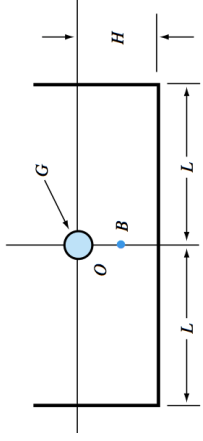
Negatif → tidak stabil

Nol → selalu stabil (netral)

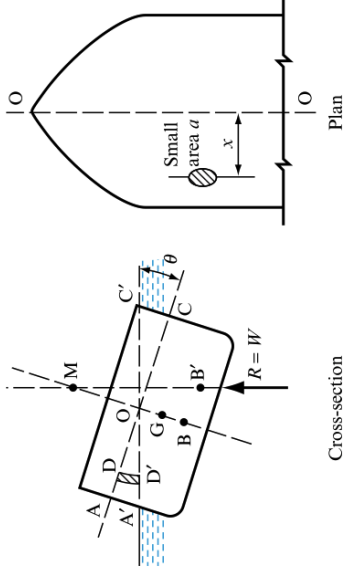


Jika dimiringkan sebesar ϑ , pusat apung akan bergeser → muncul momen gaya

Contoh: barge



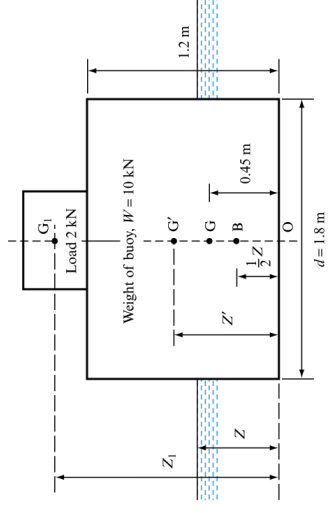
Ukuran $2L \times b$
 Tenggelam: H
 Tinggi metacenter?



Cross-section

Plan

Contoh:



Contoh: barge

Ukuran $2L \times b$
 Tenggelam: H
 Tinggi metacenter?



Mekanika Fluida

(SFM333/PFD334 – 3 sks)

Ch. 4



Osborne Reynolds
(1842 – 1912)
British physicist

Pathline

*Strike*line

Streamline

Streamtube

Pathline

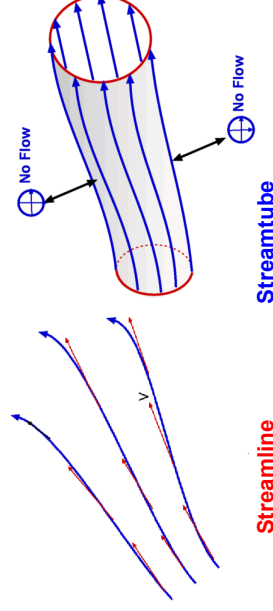
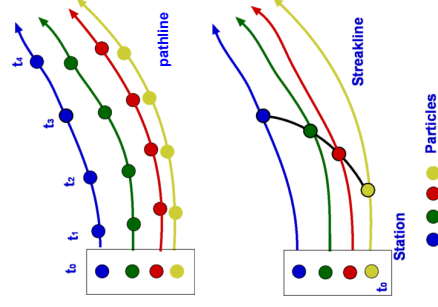
(garis lintasan)

*Strike*line

Streamline

(garis arus)

Streamtube



Pada aliran tunak:
streamline, pathline dan streakline akan sama

Steady \gg *unsteady*

Inviscid \gg *viscous*

Incompressible \gg *Compressible*

Gas \gg *Liquid*

Steady \gg *unsteady*
(tunak) (tak-tunak)

Inviscid \gg *viscous*
 $\mu = 0$ $\mu \neq 0$

Incompressible \gg *Compressible*

Gas \gg *Liquid*

2 Gerak Partikel Fluida

Perubahan kecepatan ketika fluida mengalir dari titik A ke titik B:

$$dv = \frac{\partial v}{\partial s}(\delta s) + \frac{\partial v}{\partial t}(\delta t)$$

Perubahan kecepatan ketika fluida mengalir dari titik A ke titik B:

$$dv = \frac{\partial v}{\partial s}(\delta s) + \frac{\partial v}{\partial t}(\delta t)$$

Perubahan kecepatan terhadap posisi

Perubahan kecepatan terhadap waktu

$$\frac{\text{Gaya inersial}}{\text{Gaya viscos}} = \text{konstanta} \times \frac{\rho v l}{\mu}$$

Diameter pipa

Viskositas fluida

$$\frac{\text{Gaya inersial}}{\text{Gaya viscos}} = \text{konstanta} \times \frac{\rho v l}{\mu}$$

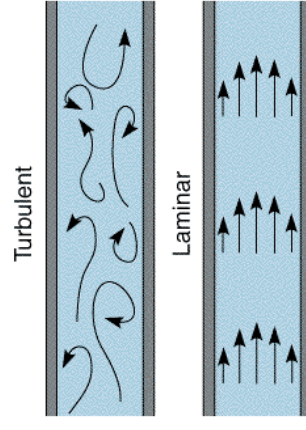
Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds < 2000

Aliran laminar

Jika kecepatan aliran di seluruh titik sama
→ aliran seragam (*uniform*)

Jika kecepatan aliran dan tekanan di semua titik bervariasi, namun tidak berubah terhadap waktu
→ aliran tunak (*steady*)



Banyaknya fluida yang mengalir tiap satuan waktu:

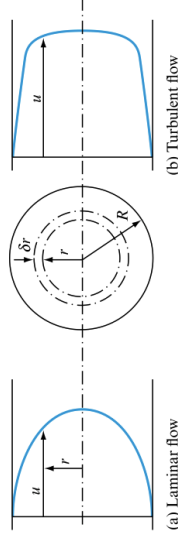
$$Q = A v$$

3 Laju Aliran

Percepatan aliran fluida:

$$a = \frac{Dv}{Dt} = v \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t}$$

Pada fluida nyata:



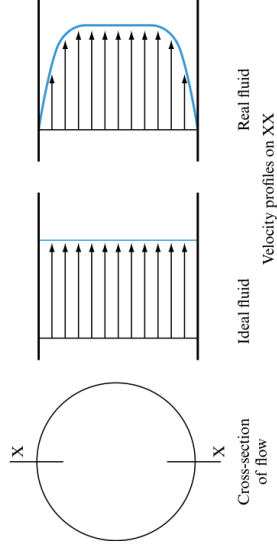
$$\delta Q = (\text{luas elemen}) \times \text{kecepatan}$$

$$Q = 2\pi \int_0^R v(r) r dr$$

Banyaknya fluida yang mengalir

Laju aliran volume
(Q dengan satuan m³/s)

Pada fluida ideal, kecepatan aliran sama di semua titik pada bidangampang lintang



Percepatan aliran fluida (untuk satu partikel):

$$a = \frac{Dv}{Dt} = v \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t}$$

Percepatan substansif

Turunan substansif

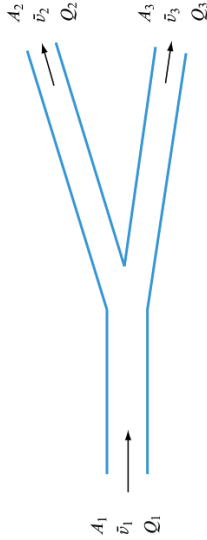
Percepatan konvektif

Percepatan temporal

Untuk aliran 3D, pada arah x:

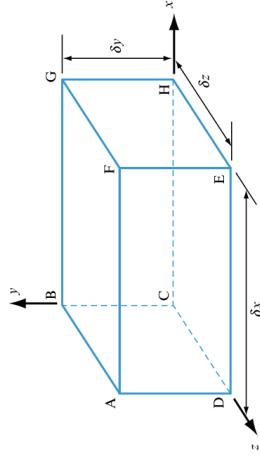
$$a_x = \frac{Dv_x}{Dt} = v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_x}{\partial t}$$

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 + \rho_3 Q_3$$

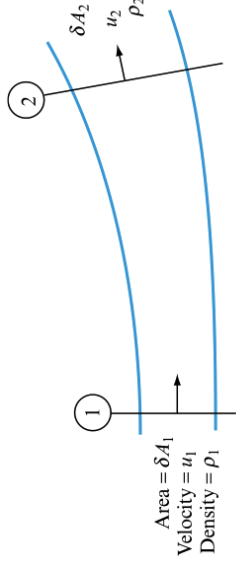


Persamaan Umum Kontinuitas:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z) = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$



Massa yang masuk lewat ABCD per satuan waktu = $\rho v_x \delta y \delta z$



Massa per satuan waktu yang masuk lewat 1

=

Massa per satuan waktu yang keluar lewat 2

Untuk aliran tunak (steady):

$$\rho_1 \delta A_1 v_1 = \rho_2 \delta A_2 v_2 = \text{konstan}$$

→ persamaan kontinuitas fluida compressible

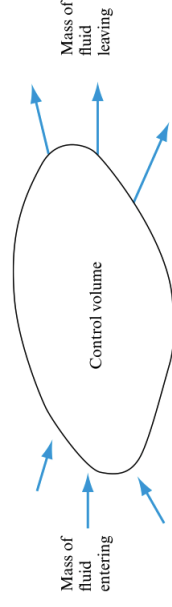
$$A_1 \bar{v}_1 = A_2 \bar{v}_2 = Q$$

→ persamaan kontinuitas fluida incompressible

$$\text{Kecepatan rerata} = Q/A$$

4 Persamaan Kontinuitas

Kekekalan Massa



Jika incompressible:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

Mekanika Fluida

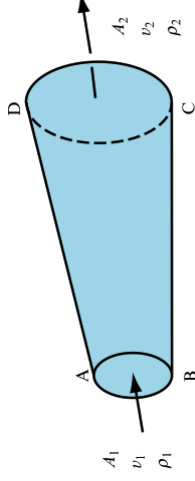
(SFM333/PFD334 – 3 sks)

Ch. 5

1 Momentum Fluida

Momentum = (massa)(kecepatan)

Volume Kendali (Control Volume)



$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

Momentum keluar volume kendali:

$$\dot{m} v_1 = \rho_1 A_1 v_1 v_1$$

Momentum masuk volume kendali:

$$\dot{m} v_2 = \rho_2 A_2 v_2 v_2 = \rho_1 A_1 v_1 v_2$$

$$F = \frac{dp}{dt} = \dot{m} (v_2 - v_1) = \dot{m} (v_{keluar} - v_{masuk})$$

Laju perubahan momentum dari fluida dalam volume kendali

$$F = \frac{dp}{dt} = \dot{m} (v_2 - v_1) = \dot{m} (v_{keluar} - v_{masuk})$$

Gaya total yang bekerja pada fluida dalam volume kendali

Komponen gaya total F :

- F_1 = Gaya pada fluida oleh benda solid
- F_2 = Gaya pada fluida oleh gravitasi
- F_3 = Gaya pada fluida oleh fluida di luar volume kendali

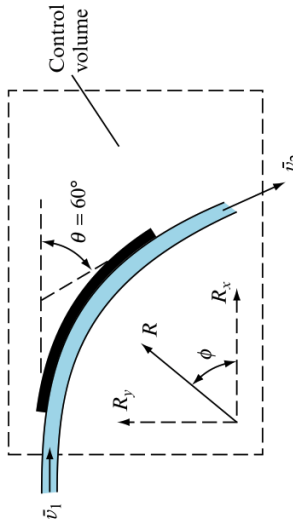
$$F = F_1 + F_2 + F_3 = \dot{m} (v_{keluar} - v_{masuk})$$

Gaya oleh dinding

Gaya gravitasi

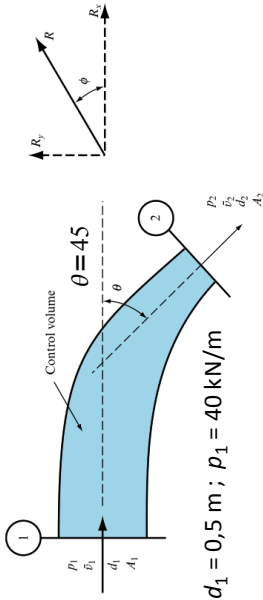
Gaya akibat beda tekanan

Contoh 5.3:



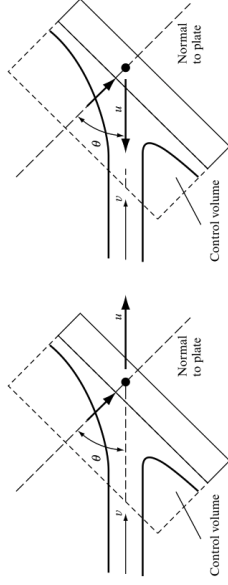
$v_1 = 30 \text{ m/s}$; $v_2 = 25 \text{ m/s}$ $\dot{m} = 0,8 \text{ kg/s}$

Contoh 5.5:



$d_1 = 0,5 \text{ m}$; $p_1 = 40 \text{ kN/m}$ $d_2 = 0,25 \text{ m}$; $p_2 = 25 \text{ kN/m}$
 $Q = 0,45 \text{ m}^3/\text{s}$

④ Reaksi terhadap semburan (jet)



$V_{\text{normal}} = (v - u) \cos \theta$

Gaya tegak lurus pada pelat

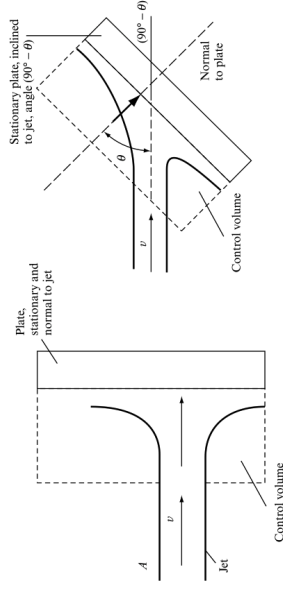
=

Laju perubahan momentum

=

$\rho A (v - u) (v - u) \cos \theta$

③ Gaya akibat pembelokan semburan (jet)



$V_{\text{normal}} = v \cos \theta$

Gaya pada fluida oleh benda solid

$F_R = -F_1$

Gaya oleh fluida pada benda solid

② Gaya oleh semburan (jet) pada bidang datar

6 Bentuk Differensial Persaman Momentum

$$\rho X - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) = \rho \frac{Dv_x}{Dt},$$

$$\rho Y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) = \rho \frac{Dv_y}{Dt},$$

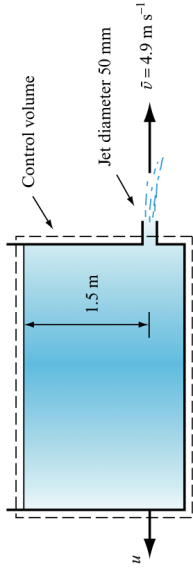
$$\rho Z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) = \rho \frac{Dv_z}{Dt}.$$

→ persamaan Navier-Stokes

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{ds} + v \frac{dv}{ds} + g \frac{dz}{ds} = 0$$

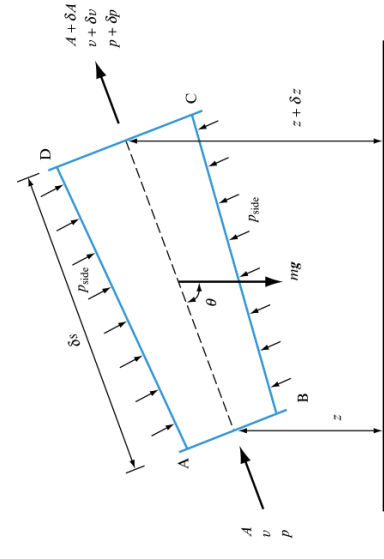
→ persamaan Euler

Contoh 5.6:



1) $u = 0$ m/s ; 2) $u = 1,2$ m/s ; $F_R = ?$

6 Persaman Gerak Euler pada streamline



Untuk kerapatan konstan (*incompressible*), diintegrasikan terhadap s diperoleh:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z = \text{konstan}$$

→ persamaan Bernoulli

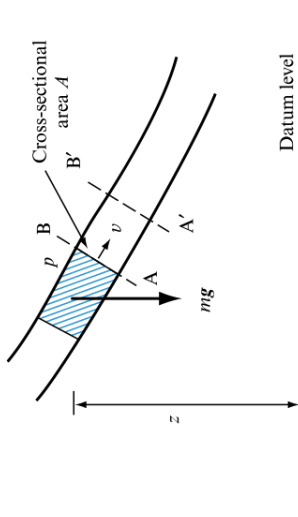
Jika compressible, ditentukan dulu hubungan antara kerapatan dengan tekanan:

$$\int \left(\frac{dp}{\rho} \right) + \frac{1}{2} v^2 + g z = \text{konstan}$$

Persamaan Bernoulli:

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = H$$

Head tekanan
Head kecepatan
Head potensial
Head total



Mekanika Fluida

(SFM333/PFD334 – 3 sks)

Ch. 6



Daniel Bernoulli
(1700 – 1782)

Energi potensial per satuan berat = z

Energi kinetik per satuan berat = $v^2/2g$

Energi tekanan per satuan berat = $p/\rho g$

Asumsi Persamaan Bernoulli:

Tidak ada energi yang ditambahkan atau dikurangkan atau kerja yang dilakukan pada fluida di antara titik 1 dan 2

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = H$$

Dimensi panjang (tinggi)

1 Energi Mekanik Aliran Fluida

$$gz_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \frac{p_1}{\rho_1} + e_1 + q - w = gz_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \frac{p_2}{\rho_2} + e_2$$

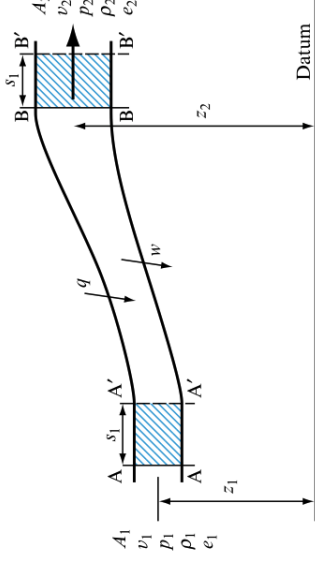
$\frac{p_1}{\rho_1} + e_1$ → Entalpi (H_1)
 $\frac{p_2}{\rho_2} + e_2$ → Entalpi (H_2)
 q → Energi masuk
 w → Energi keluar

Untuk fluida incompressible:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1 + \rho q - \rho w = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2 + \rho \Delta e$$

$\rho \Delta e$ → Energy loss akibat gesekan
Dimensi tekanan

③ Aplikasi



Prinsip Kekekalan Energi:

$$\Delta E = \Delta Q - \Delta W$$

ΔQ → Kenaikan energi
 ΔW → Energi hilang
 ΔE → Energi tambahan

Energi dari elemen massa fluida:

- Energi internal → aktivitas molekul
- Energi kinetik → kecepatan massa
- Energi potensial → ketinggian massa

Energi total per satuan berat di titik 1 =

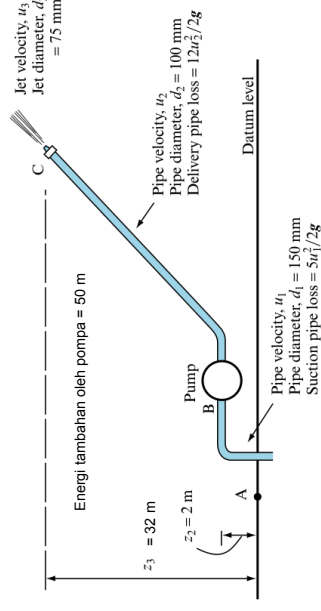
Energi total per satuan berat di titik 2 +

Energi hilang per satuan berat +

Kerja per satuan berat -

Energi tambah per satuan berat

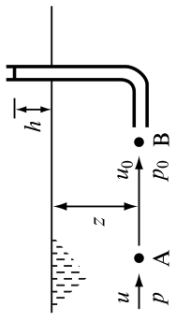
Contoh 6.1:



Berapa kecepatan semburan? Tekanan di dekat pompa (B) ?

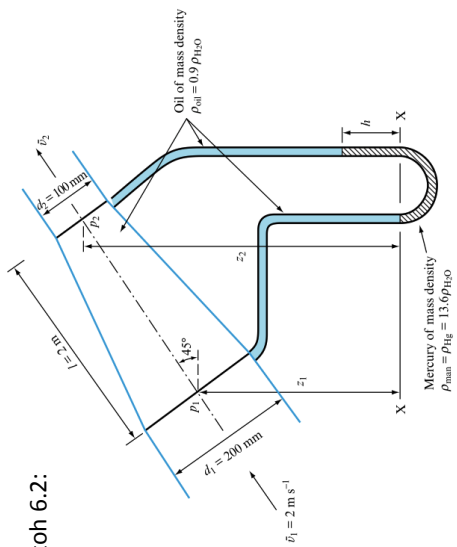
② Persamaan Energi

Tabung Pitot

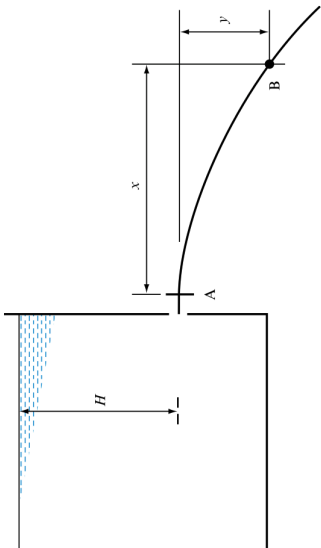
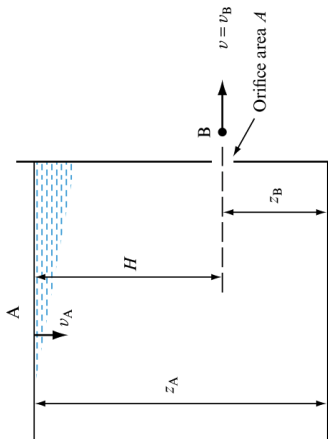


$$u = \sqrt{2gh}$$

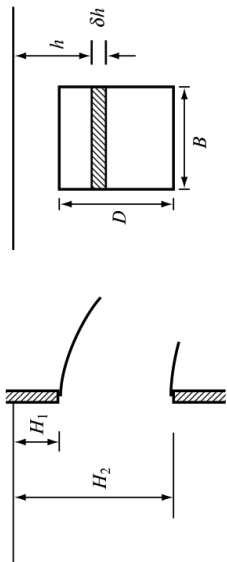
Contoh 6.2:



Celah sempit:



Celah lebar:

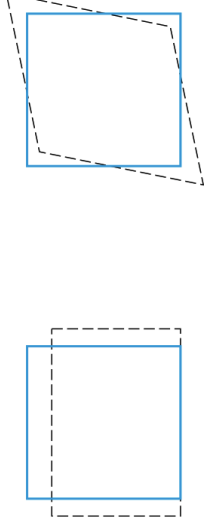


Mekanika Fluida

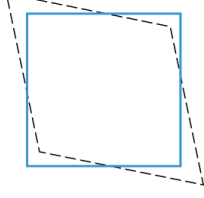
(SFM333/PFD334 – 3 sks)

Ch. 7

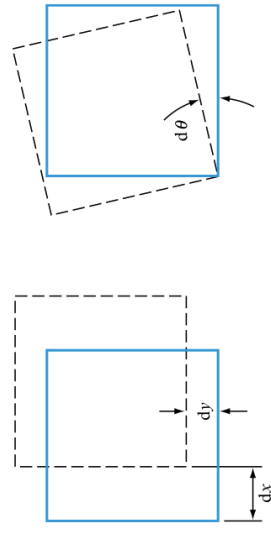
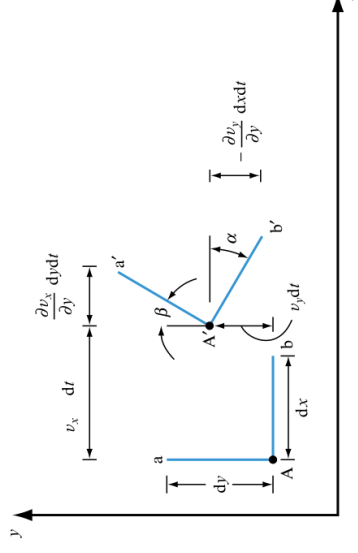
1 Aliran rotasional & irrotasional



Deformasi linear



Deformasi sudut



translasi

rotasi

Jika vortisitas tidak nol \rightarrow aliran rotasional

Persamaan Bernoulli tidak berlaku

2 Sirkulasi & Vortisitas

Sirkulasi

=

Jumlahan perkalian kecepatan dengan jarak sepanjang kontur elemen fluida

$$2\omega_z = \left(\frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) = \zeta$$

vortisitas

Sirkulasi

=

Jumlahan perkalian kecepatan dengan jarak sepanjang kontur elemen fluida

=

Integral garis dari kecepatan di sekitar elemen fluida

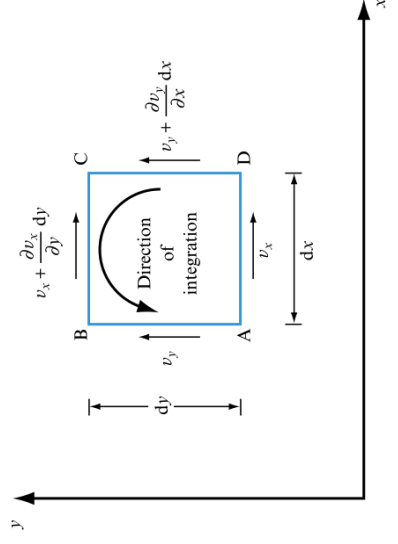
Sirkulasi

=

Integral garis dari kecepatan di sekitar elemen fluida



$$\Gamma = \oint \mathbf{v}_s \cdot d\mathbf{s}$$

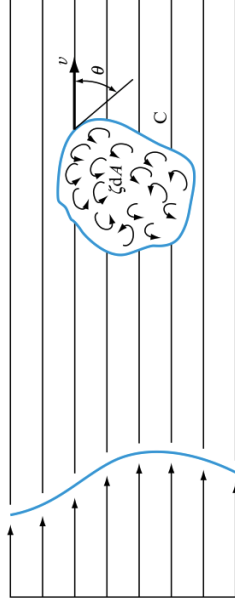


$$\Gamma = \oint \mathbf{v}_s \cdot d\mathbf{s} = \int_A \zeta dA$$

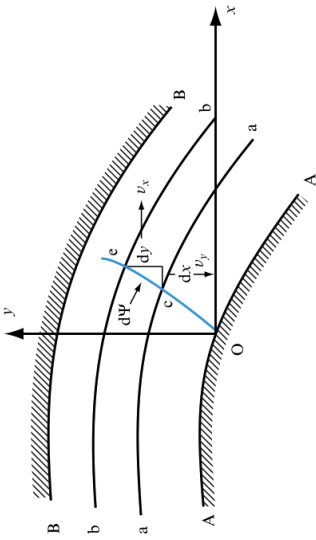


sirkulasi

vortisitas



⊕ **Garis Arus & Fungsi Arus**



$$\Psi = \int v_x dy - \int v_y dx$$



Fungsi Arus: $\Psi = f(x, y)$

$$v_x = \frac{\partial \Psi}{\partial y} \quad \text{dan} \quad v_y = -\frac{\partial \Psi}{\partial x}$$

Fungsi arus dan potensial kecepatan memenuhi persamaan Laplace

$$\nabla^2 \psi = 0 \quad \text{dan} \quad \nabla^2 \phi = 0$$

4 Potensial Kecepatan & Arus Potensial

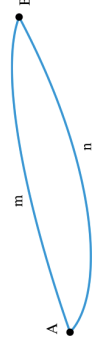
Contoh 7.1

$$v_x = x - 4y$$
$$v_y = -y - 4x$$

Tentukan ψ dan ϕ

Potensial kecepatan:

$$\phi = \int_A^B v_s ds$$



Arus potensial
= aliran fluida yang tidak bergantung lintasan

$$\int_A^B v_m ds = \int_A^B v_n ds$$

Aliran potensial = aliran irrotasional

$$v_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad \text{dan} \quad v_y = \frac{\partial \phi}{\partial y}$$

Persamaan
Cauchy-Riemann

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad \& \quad \frac{\partial \phi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$