FLUIDA STATIS

TRANSFER MOMENTUM

TRANSFER MOMENTUM (MEKANIKA FLUIDA) :

STUDI GAYA DAN PERGERAKAN FLUIDA

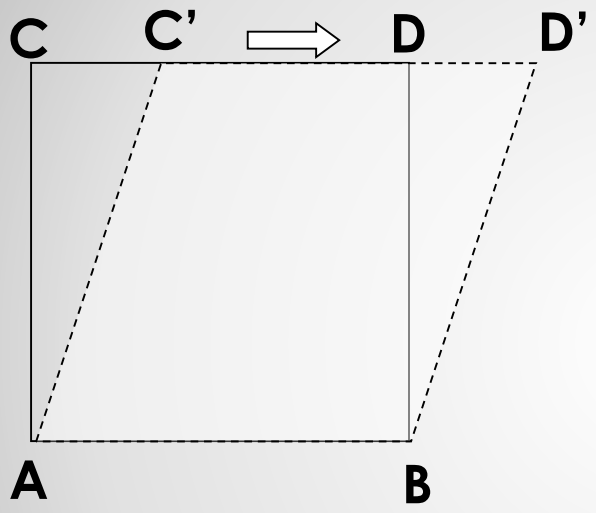
STATIKA FLUIDA :

FLUIDA KALA DIAM

DINAMIKA FLUIDA :

FLUIDA KALA GERAK

STATIKA FLUIDA



- Fluida : zat yang mengalami deformasi bentuk secara kontinyu bila dikenai shear stress
- → bila fluida diam dengan zero velocity maka shear stress tidak mungkin ada

- Berdasarkan Hk Newton viskositas :

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

shear stress = 0

gradient velocity = 0

STATIKA FLUIDA

- **Sistem koordinat :**
  - **Acuan inertial : sistem koordinat yang mengabaikan percepatan absolut dari sistem koordinat itu sendiri yang ditetapkan berdasarkan acuan terhadap bumi**
  - **Acuan non-inertial : ditetapkan terhadap sistem koordinat yang mempunyai percepatan signifikan**

- **Aplikasi Hk II Newton tentang gerak untuk massa fluida tetap & diam : jumlah dari gaya2 yang bekerja = hasil kali massa dan percepatannya**

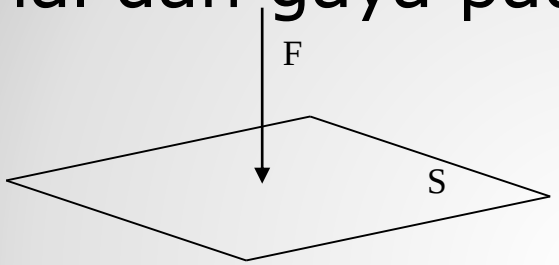
$$\Sigma \boldsymbol{F} = 0$$

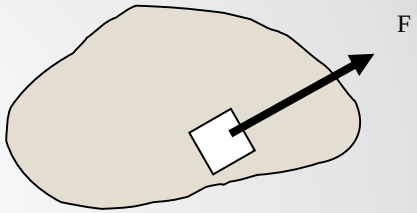
inertial reference case

$$\Sigma \boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$$

non-inertial reference case

- Gaya F yang dikenakan pada permukaan fluida seluas S dapat diuraikan menjadi gaya normal dan gaya pada bidang luasan.





- Tekanan P adalah gaya normal F persatuan elemen luas A .

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

Satuan P ≡ Pascal (Pa)

1 Pa = 1N/m^2

1 cmHg = 1360 Pa

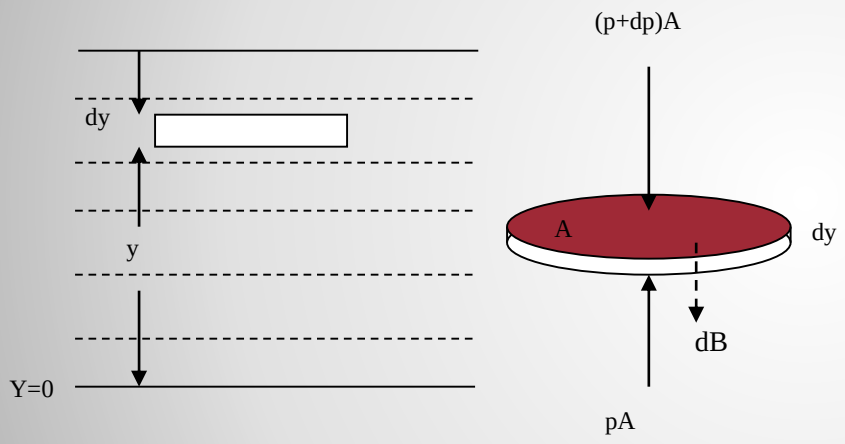
1 atm = 1,013 x 10^5 Pa

1 Bar = 10^5 Pa

TEKANAN

Tekanan di dalam fluida Statis

- Jika Fluida berada di dalam kesetimbangan, maka tiap bagian fluida berada di dalam kesetimbangan.



- Gaya arah horizontal resultan adalah nol (tidak ada percepatan horizontal); begitu pula arah vertikal

- Massa elemen kecil dari volume fluida = $\rho A\, dy$;
  Berat elemen B = $\rho g A\, dy$
- Kesetimbangan gaya arah vertikal

$$pA = (p+dP)A + dB$$
$$= (p+dP)A + \rho g A\, dy$$
$$Pp / dy = - \rho g$$
$$dP = - \rho g\, dy$$

ρg = berat jenis fluida yaitu berat persatuan volume fluida

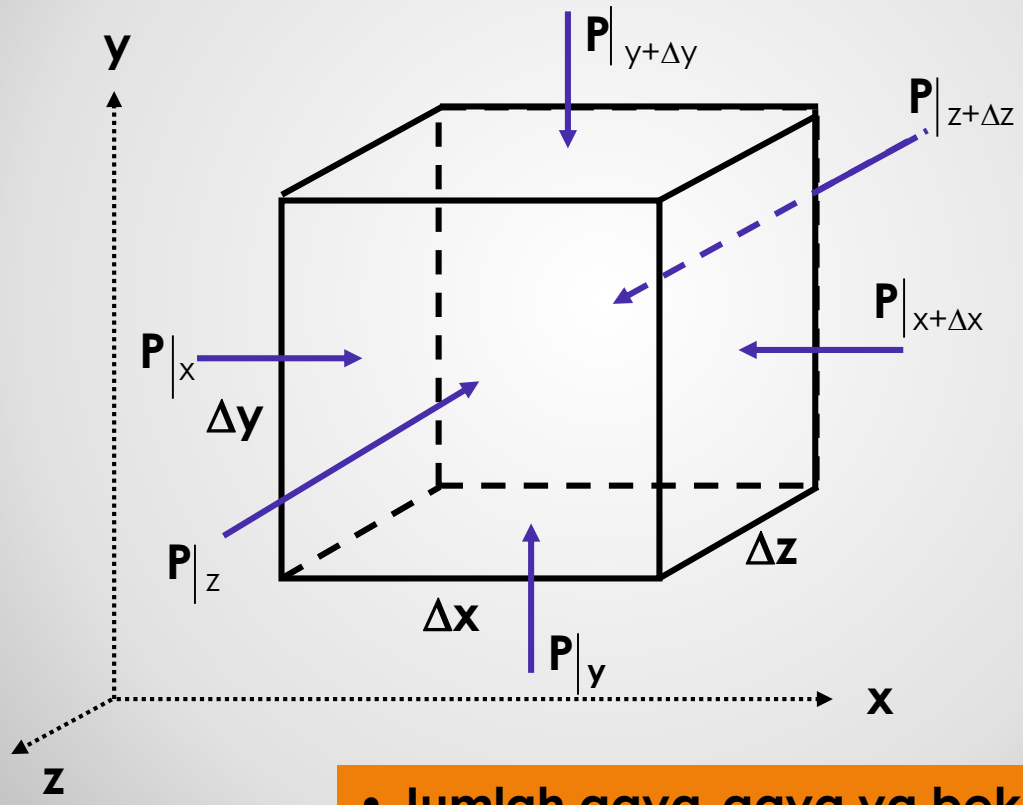
- Jika p_1 tekanan pada elevasi y_1 dan p_2 tekanan pada elevasi y_2 diatas permukaan referensi, persamaan dapat diintegralkan :

$$\int_{p1}^{p2} dP = - \int_{y1}^{y2} \rho g\, dy$$

Jika $\rho \neq \rho(y)$, maka : $P2 - P1 = - \rho g (y2 - y1)$

- Tekanan pada fluida hanya bergantung kedalaman, tidak bergantung luas permukaan fluida (zalir).

VARIASI TEKANAN DALAM FLUIDA STATIK



PADA FLUIDA DIAM:
SHEAR STRESS=0

PADA FLUIDA DIAM:
TEKANAN ADALAH SAMA
UNTUK SEMUA ARAH

- **Jumlah gaya-gaya yg bekerja pada elemen fuida = 0**
- **Hanya gaya-gaya akibat gravitasi dan tekanan → Hk Newton dapat dipenuhi aplikasinya utk fluida bebas yg berukuran diferensial**

VARIASI TEKANAN DALAM FLUIDA STATIK

- **Gaya akibat gravitasi =** $\rho \boldsymbol{g} \Delta x \Delta y \Delta z = \rho . \Delta x \Delta y \Delta z . \boldsymbol{g}$

- **Gaya akibat tekanan :**

$$\left(P_{|\Delta x} - P_{|x+\Delta x}\right)\Delta y \Delta z \boldsymbol{e}_x + \left(P_{|\Delta y} - P_{|y+\Delta y}\right)\Delta x \Delta z \boldsymbol{e}_y + \left(P_{|\Delta z} - P_{|z+\Delta z}\right)\Delta x \Delta y \boldsymbol{e}_z$$

- **Jumlah gaya2 :**

$$\rho \boldsymbol{g} \Delta x \Delta y \Delta z + \left(P_{|\Delta x} - P_{|x+\Delta x}\right)\Delta y \Delta z e_x + \left(P_{|\Delta y} - P_{|y+\Delta y}\right)\Delta x \Delta z e_y + \left(P_{|\Delta z} - P_{|z+\Delta z}\right)\Delta x \Delta y \boldsymbol{e}_z = 0$$

$$\rho \boldsymbol{g} + \frac{\left(P_{|\Delta x} - P_{|x+\Delta x}\right)}{\Delta x}\boldsymbol{e}_x + \frac{\left(P_{|\Delta y} - P_{|y+\Delta y}\right)}{\Delta y}\boldsymbol{e}_y + \frac{\left(P_{|\Delta z} - P_{|z+\Delta z}\right)}{\Delta z}\boldsymbol{e}_z$$

Bila elemen fluida mendekati nol, Δx, Δy, $\Delta z \rightarrow 0$, sehingga elemen fluida akan mendekati titik (x,y,z)

$$+ \frac{\left(\boldsymbol{P}_{|\Delta z} - \boldsymbol{P}_{|z+\Delta z}\right)}{\Delta \boldsymbol{z}}\boldsymbol{e}_z = 0$$

VARIASI TEKANAN DALAM FLUIDA STATIK

- **Jumlah gaya-gaya :**

$$\rho \mathbf{g} = \lim_{\Delta x, \Delta y, \Delta z \to 0} \left[\frac{\left(P_{|\Delta x} - P_{|x+\Delta x}\right)}{\Delta x} e_x - \frac{\left(P_{|\Delta y} - P_{|y+\Delta y}\right)}{\Delta y} e_y - \frac{\left(P_{|\Delta z} - P_{|z+\Delta z}\right)}{\Delta z} e_z \right]$$

$$\rho \boldsymbol{g} = \frac{\partial P}{\partial x} \boldsymbol{e}_x + \frac{\partial P}{\partial y} \boldsymbol{e}_y + \frac{\partial P}{\partial z} \boldsymbol{e}_z$$

$$\rho \boldsymbol{g} = \nabla \boldsymbol{P}$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial \boldsymbol{x}} \boldsymbol{e}_x = -\rho \boldsymbol{g} \boldsymbol{e}_x$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial \boldsymbol{y}} \boldsymbol{e}_y = -\rho \boldsymbol{g} \boldsymbol{e}_y$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial \boldsymbol{z}} \boldsymbol{e}_z = -\rho \boldsymbol{g} \boldsymbol{e}_z$$

Barometric equation

Statika fluida untuk liquid

VARIASI TEKANAN DALAM FLUIDA STATIK

Statika fluida untuk gas

$$\frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial \boldsymbol{x}} \boldsymbol{e}_x = -\rho \boldsymbol{g} \boldsymbol{e}_x$$

$$\frac{d\boldsymbol{P}}{d\boldsymbol{x}} = -\frac{PM}{RT} \boldsymbol{g}$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial \boldsymbol{y}} \boldsymbol{e}_y = -\rho \boldsymbol{g} \boldsymbol{e}_y$$

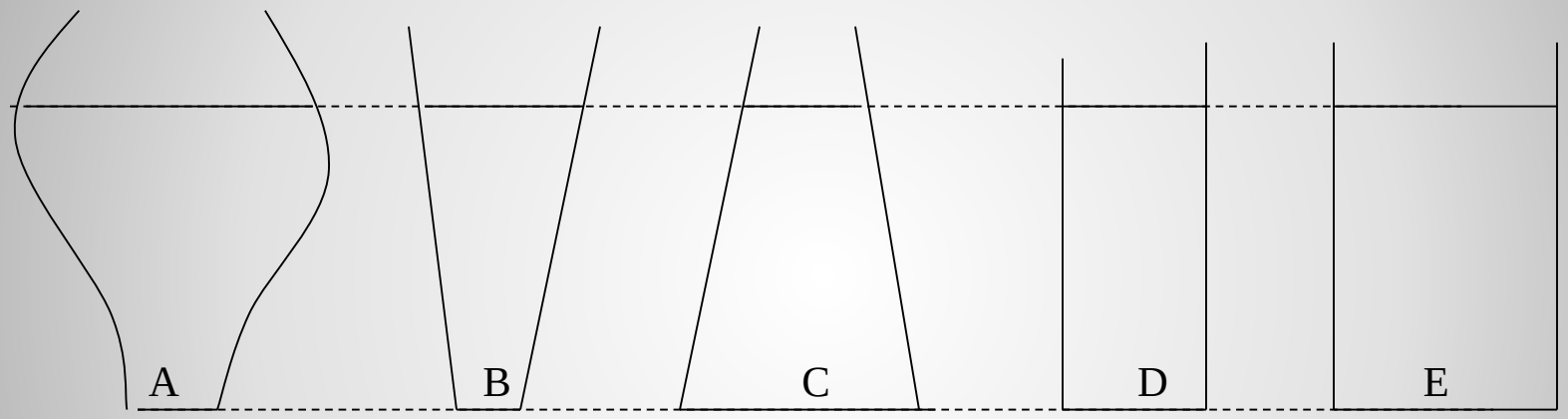
$$\frac{d\boldsymbol{P}}{d\boldsymbol{y}} = -\frac{PM}{RT} \boldsymbol{g}$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial \boldsymbol{z}} \boldsymbol{e}_z = -\rho \boldsymbol{g} \boldsymbol{e}_z$$

$$\frac{d\boldsymbol{P}}{d\boldsymbol{x}} = -\frac{PM}{RT} \boldsymbol{g}$$

HUKUM UTAMA HIDROSTATTIKA

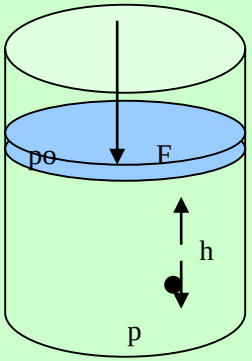
- PARADOKS HIDROSTATIS

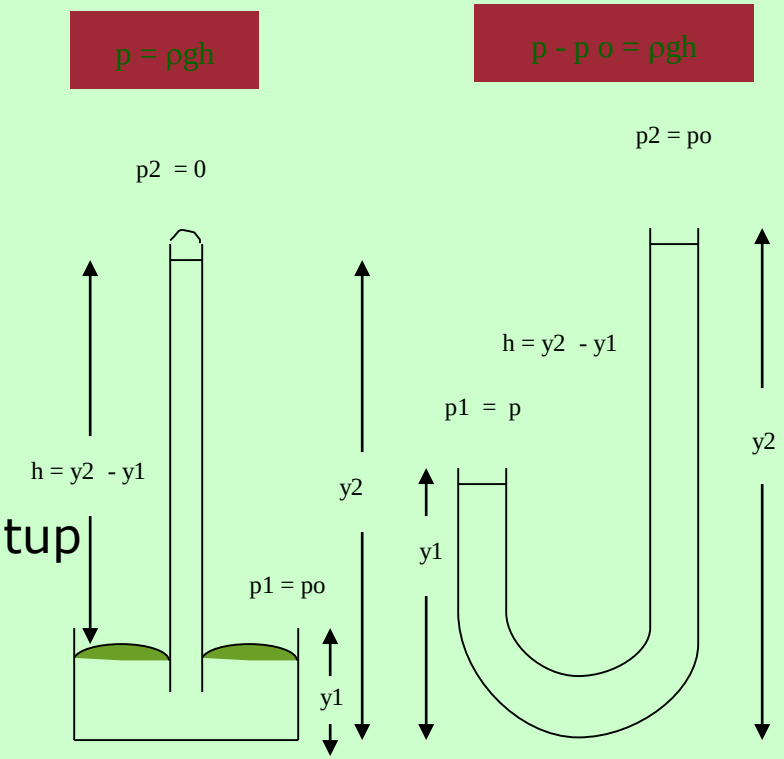


- $P_A = P_B = P_C = P_D = P_E$

- HUKUM UTAMA HIDROSTATIKA
- Tekanan pada setiap tempat yang mempunyai ketinggian sama, dan pada jenis fluida yang sama yang berhubungan adalah sama.

- $p_o - p = -\rho g (y_2 - y_1)$
- $p = p_o + \rho g h$ (tekanan sama pada titik pada kedalaman sama)



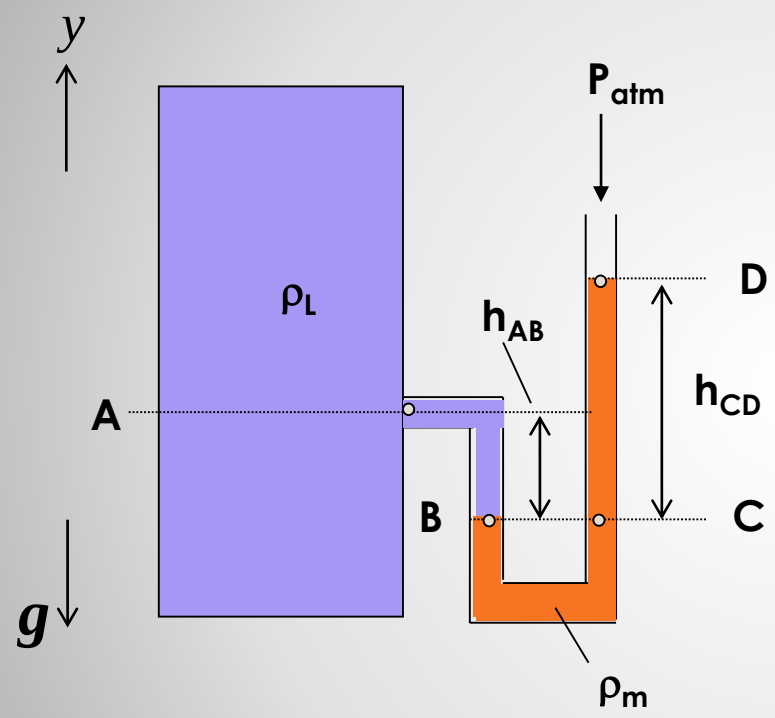


- Pengukuran Tekanan
  - Barometer air raksa
  - Manometer terbuka dan tertutup

APLIKASI-APLIKASI

- **MANOMETER** (Tekanan pada fluida statik)
- **GAYA MENGAPUNG** (BOUYANT FORCES)
- **VARIASI TEKANAN** TERHADAP KETINGGIAN/ KEDALAMAN

MANOMETER



$$\frac{d\boldsymbol{P}}{d\boldsymbol{y}}\boldsymbol{e}_y = -\rho \boldsymbol{g}\boldsymbol{e}_y$$

antara D-C :

$$dP = -\rho g dy$$

$$\int_{P_C}^{P_{atm}} dP = -\rho g \int_{y_C}^{y_D} dy$$

$$P_{atm} - P_C = -\rho_m g (y_D - y_C)$$

$$P_{atm} - P_C = -\rho_m g h_{CD}$$

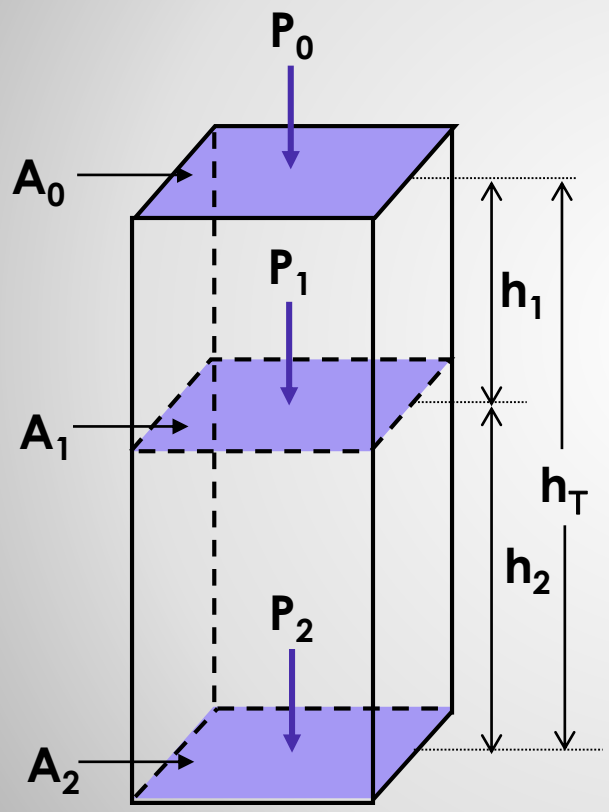
antara A-B :

$$P_A - P_B = -\rho_L g h_{AB}$$

$$P_B = P_C$$

$$P_A - P_{atm} = \rho_m g h_{CD} - \rho_L g h_{AB}$$

TEKANAN DALAM FLUIDA STATIS



$$\frac{d\boldsymbol{P}}{d\boldsymbol{y}}\boldsymbol{e}_y = -\rho \boldsymbol{g}\boldsymbol{e}_y$$

antara bidang 0 -1 :

$$P_{atm} - P_1 = -\rho g h_1$$

antara bidang 1 - 2 :

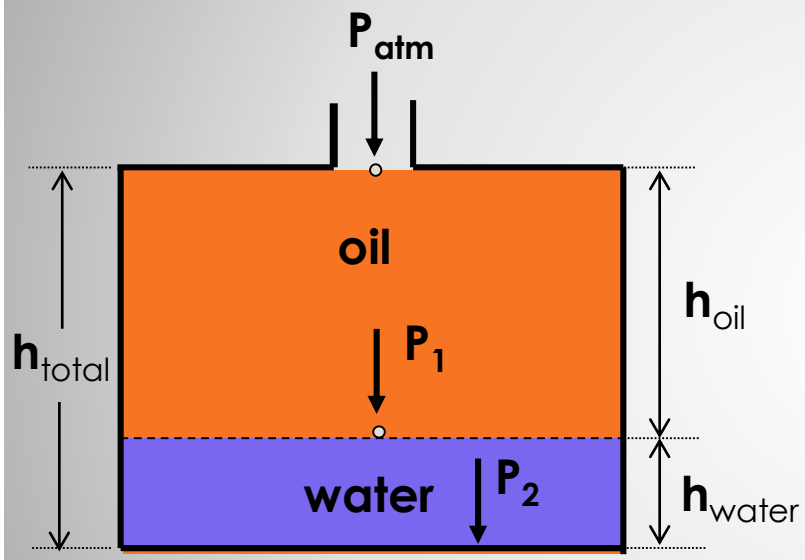
$$P_1 - P_2 = -\rho g h_2$$

$$P_2 = \rho g h_1 + \rho g h_2 + P_{atm}$$

$$P_2 = \rho g (h_1 + h_2) + P_{atm}$$

$$P_2 = \rho g h_T + P_{atm}$$

TEKANAN DALAM FLUIDA STATIS



$$\frac{d\boldsymbol{P}}{d\boldsymbol{y}}\boldsymbol{e}_y = -\rho \boldsymbol{g}\boldsymbol{e}_y$$

Pada bidang batas O/W

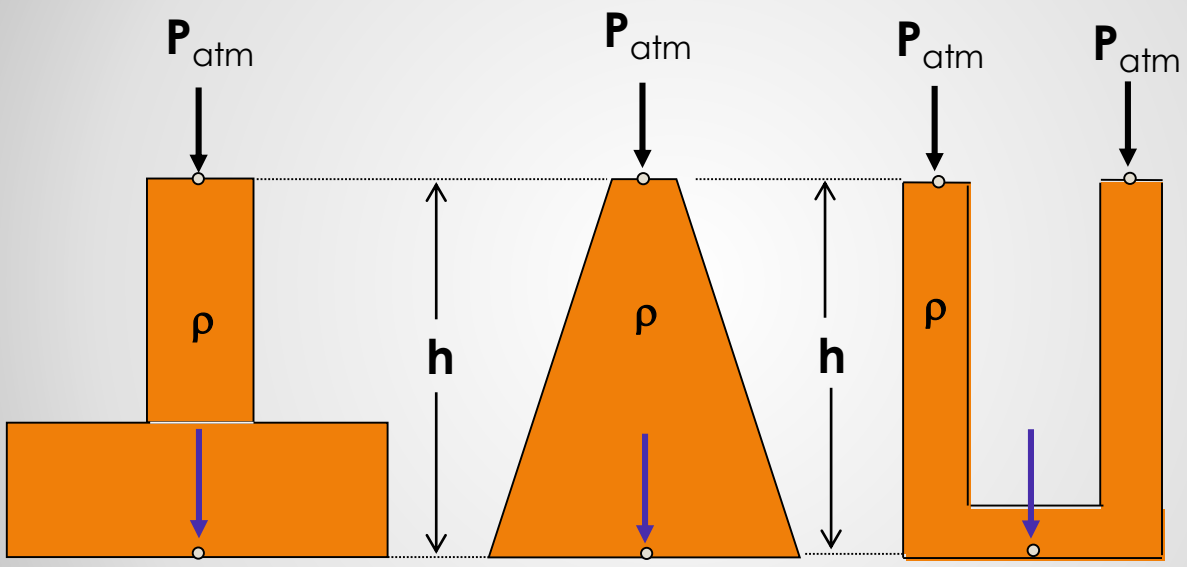
$$P_{atm} - P_1 = -\rho_{oil} g h_{oil}$$

Pada dasar tangki :

$$P_1 - P_2 = -\rho_{water} g h_{water}$$

$$P_2 = \rho_{oil} g h_{oil} + \rho_{water} g h_{water} + P_{atm}$$

TEKANAN DALAM FLUIDA STATIS



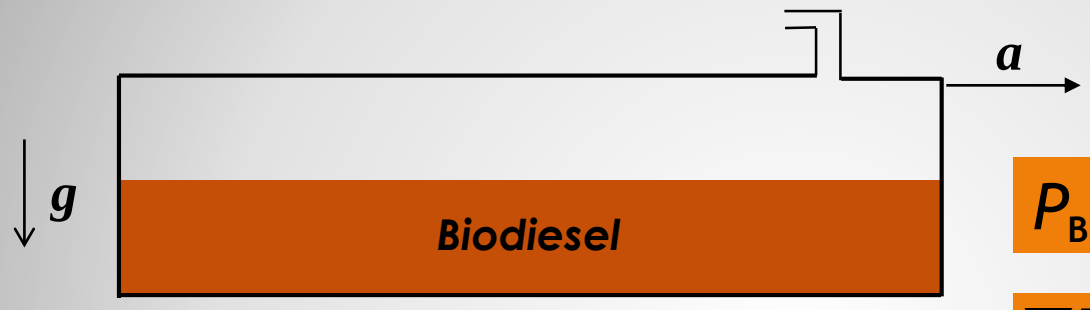
PERCEPATAN RECTILINEAR SERAGAM

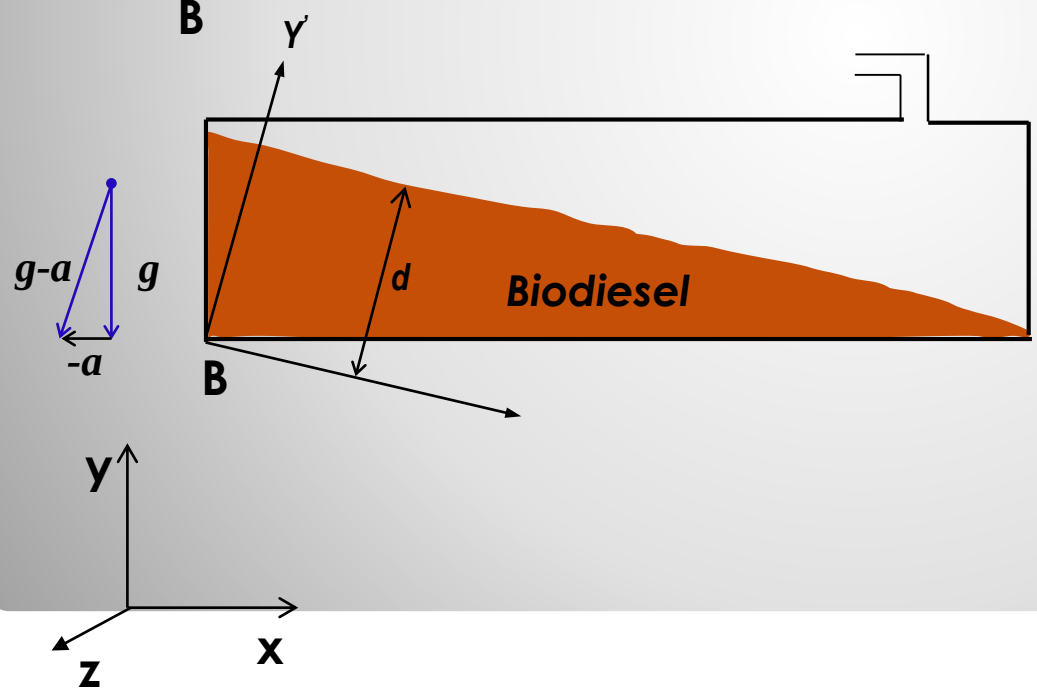
- Untuk sistem koordinat inersial :
  - Persamaan $\nabla \boldsymbol{P} = \rho \boldsymbol{g}$ tidak berlaku
  - Bila fluida mendapatkan uniform rectilinear acceleration, maka fluida akan diam terhadap sistem koordinat yang dipercepat konstan
- Analisis kasus sistem koordinat inersial dapat diterapkan, kecuali $\Sigma \boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} = \rho \Delta x \Delta y \Delta z\, \boldsymbol{a}$
- Maka hasilnya adalah :

$$\nabla \boldsymbol{P} = \rho (\boldsymbol{g} - \boldsymbol{a})$$

  - Arah laju perubahan tekanan maximum (gradien tekanan) : (g - a)
  - Garis tekanan konstan tegak lurus arah (g - a)
  - Variasi tekanan dari titik ke titik → integrasi persamaan diatas

PERCEPATAN RECTILINEAR SERAGAM



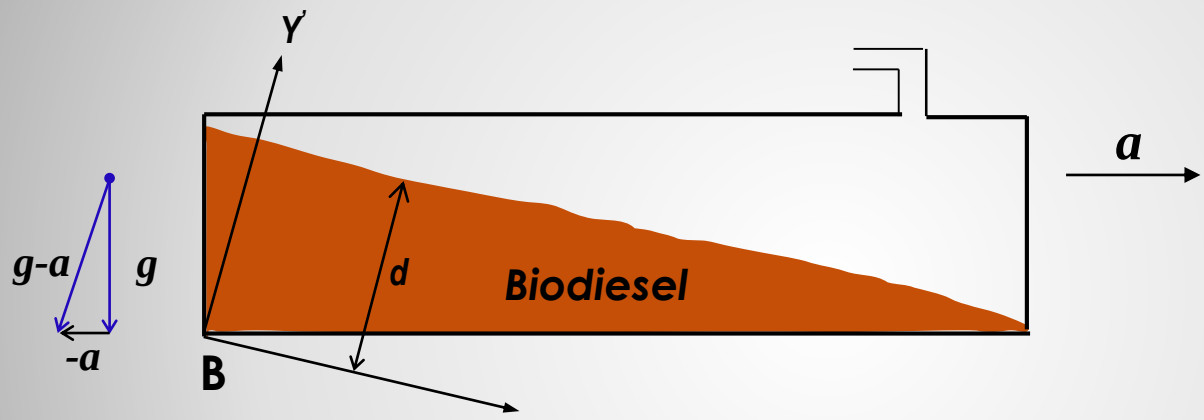


P_B = ?

$$\nabla P = \rho(g - a)$$

- Gradien tekanan terletak pada arah ***(g-a)***
- Permukaan fluida tegak lurus arah (***g-a***)
- Dengan sumbu *y* sejajar (***g-a***) persamaan dapat diintegrasi antara titik B dan permukaan liquid

PERCEPATAN RECTILINEAR SERAGAM



$$\nabla \boldsymbol{P} = \rho(\boldsymbol{g} - \boldsymbol{a})$$

$$\frac{d\boldsymbol{P}}{d\boldsymbol{y}}\boldsymbol{e}_y = -\rho\,|\boldsymbol{g} - \boldsymbol{a}|\,\boldsymbol{e}_y$$

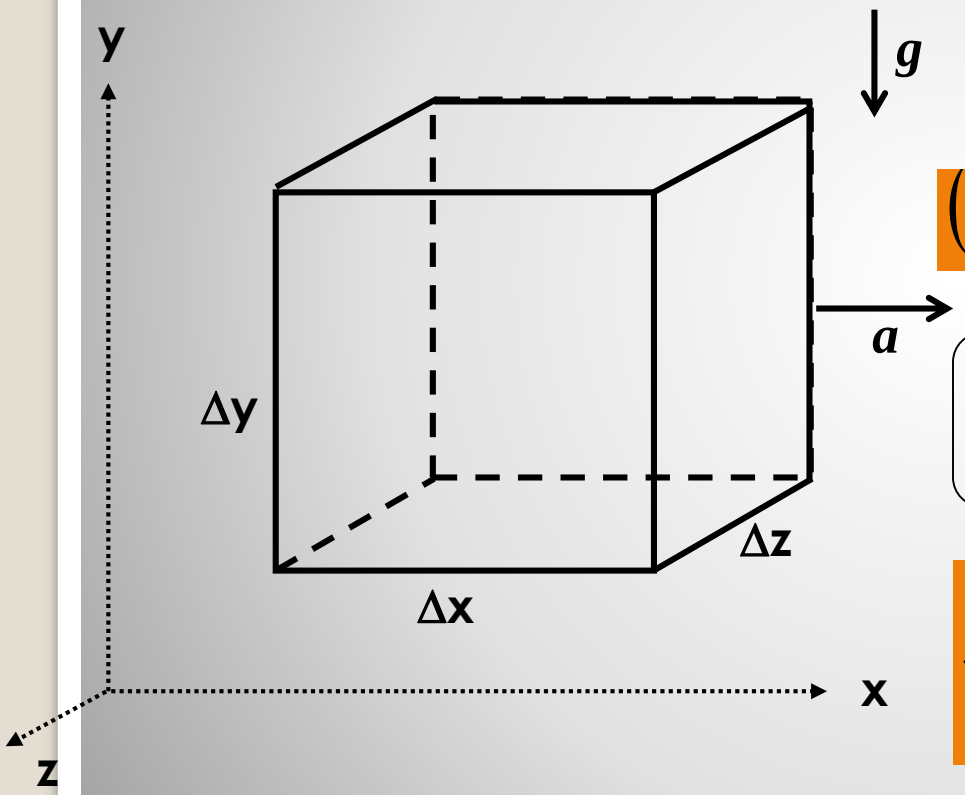
$$dP = -\rho\sqrt{g^2 + a^2}\;dy$$

$$\int_{P_B}^{P_{atm}} dP = -\rho\sqrt{g^2 + a^2}\int_0^d dy$$

$$P_{atm} - P_B = \rho\sqrt{g^2 + a^2}\,(-d)$$

$$P_B - P_{atm} = \rho\sqrt{g^2 + a^2}\,(d)$$

PERGERAKAN BENDA PEJAL YANG DIPERCEPAT



$$\left(P_{y=0}\right)\Delta x\Delta z+\left(P_{y=\Delta y}\right)\Delta x\Delta z-\rho g\Delta x\Delta y\Delta z$$

$$=\rho\Delta x\Delta y\Delta z\frac{d^2y}{dt^2}$$

dibagi Δx Δy Δz dan ambil limit Δy → 0

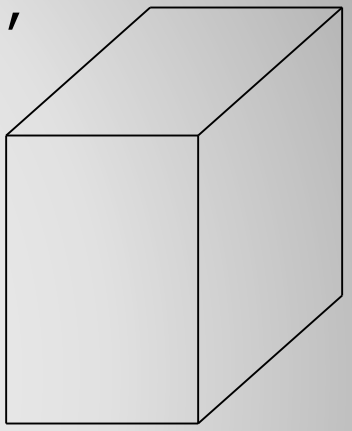
$$\frac{dP}{dz}=\rho\left(g+\frac{d^2y}{dt^2}\right)$$

$$P_2-P_1=\rho\left(g+\frac{d^2y}{dt^2}\right)\left(y_2-y_1\right)$$

$$P=-\rho h\left(g+\frac{d^2y}{dt^2}\right)$$

GAYA ARCHIMEDES

- Jika suatu balok hipotesis dalam suatu zat cair, maka gaya-gaya dalam arah horisontal akan saling meniadakan. Jika bagian atas balok berada pada kedalaman L, tinggi balok = h, luas permukaan atas maupun bawah = A, maka bagian atas balok mendapat gaya ke bawah sebesar : $F_{ATAS} = \rho_f\ g\ L\ A$



Sedangkan gaya dari bawah melalui permukaan bawah besarnya :

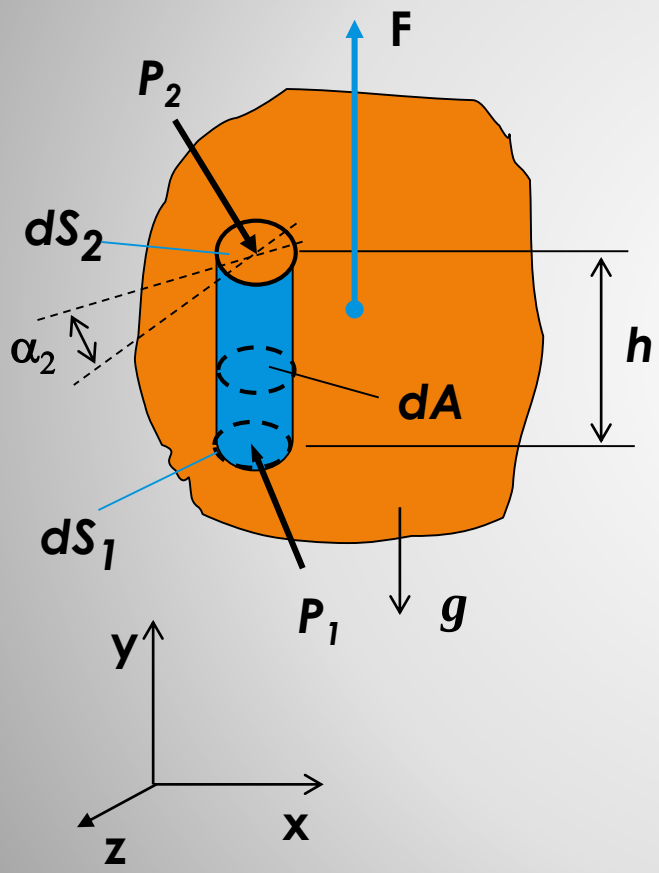
$F_{BAWAH} = \rho_f\ g\ (L+H)\ A$

Ini berarti bahwa balok tersebut akan mengalami gaya ke atas sebesar : $F_A = F_{BAWAH} - F_{ATAS}$

$F_A = \rho_f\ g\ (L+H)\ A - \rho_f\ g\ LA$

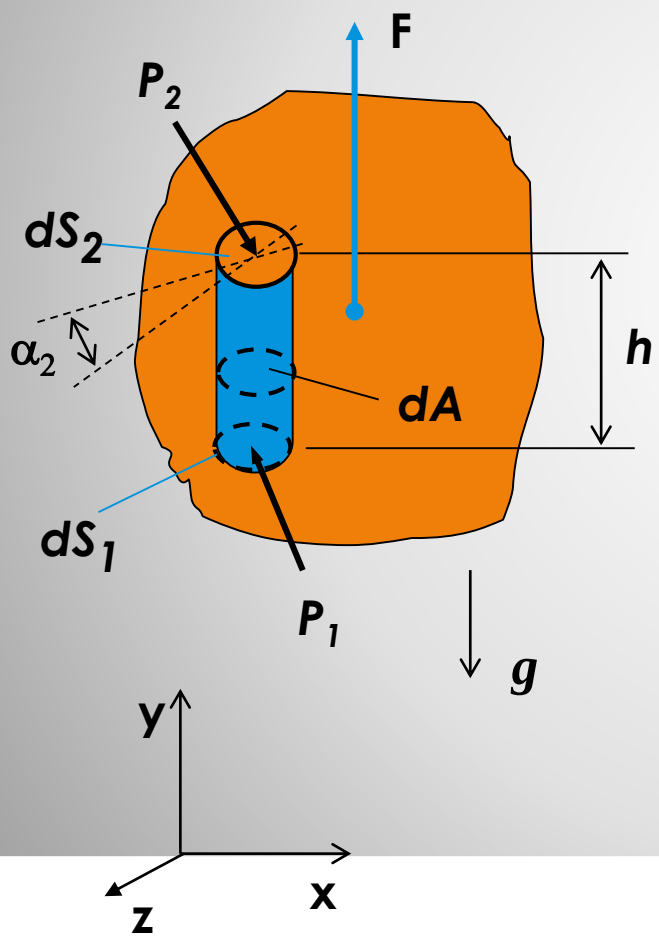
$F_A = \rho_f\ g\ V$ (gaya Archimides)

BOUYANCY



- Gaya *F* yang diberikan fluida statik pada benda yang mengapung/tercelup utk mempertahankan benda dalam kesetimbangan
- Gaya-gaya yang bekerja pada elemen *hdA* :
  - Gaya gravitasi
  - Gaya akibat tekanan pada surface S_1 dan S_2

BOUYANCY



- **Gaya gravitasi :** $-\rho_B g\, h\, dA\, \mathrm{e_y}$

- **Gaya akibat tekanan :**

$$F_{y1} = P_1 dS_1 \cos\alpha_1 \mathrm{e_y}$$

$$F_{y2} = -P_2 dS_2 \cos\alpha_2 \mathrm{e_y}$$

dA

- **Gaya resultan dF :**

$$dF = (P_1 - P_2) dA e_y - \rho_B g h dA e_y$$

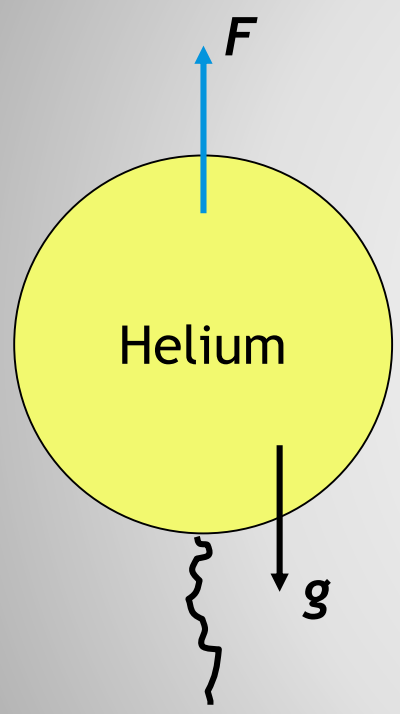
$$P_1 - P_2 = \rho_L g h$$

$$dF = \rho_L g h dA e_y - \rho_B g h dA e_y$$

$$F = \rho_L g V e_y - \rho_B g V e_y$$

Gaya apung Gaya berat

BOUYANCY



Balon helium (diameter 3 m) mempunyai tekanan dan temperatur seperti udara sekitarnya (1 atm, 20^0C). Bila berat balon diabaikan, berapa daya angkat balon ?

Gaya resultan *F* :

$$F = \rho_{air} g V e_y - \rho_{He} g V e_y$$

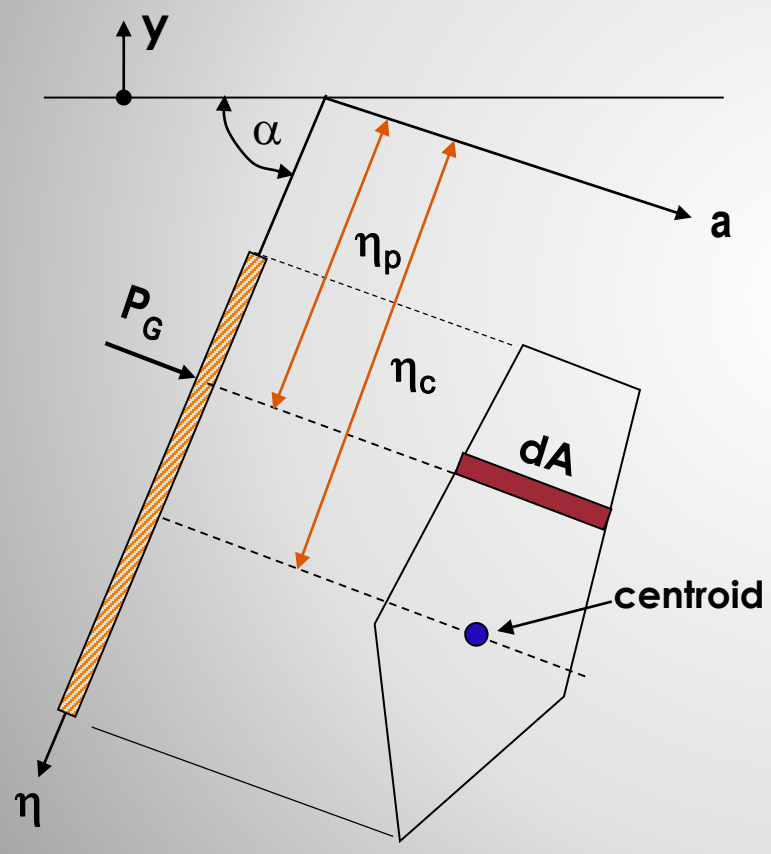
Gaya apung Gaya berat

$$F = (\rho_{air} - \rho_{He}) g V$$

$$F = Vg \frac{P}{RT} (M_{air} - M_{hel})$$

$$F = \frac{\pi}{6}(3)^3.(9{,}81).\frac{1}{(8{,}2.10^{-5}.293{,}15)}(29-4) = 144{,}2N$$

GAYA-GAYA PADA PERMUKAAN TERCELUP (SUBMERGED)



Gaya pada elemen dA :

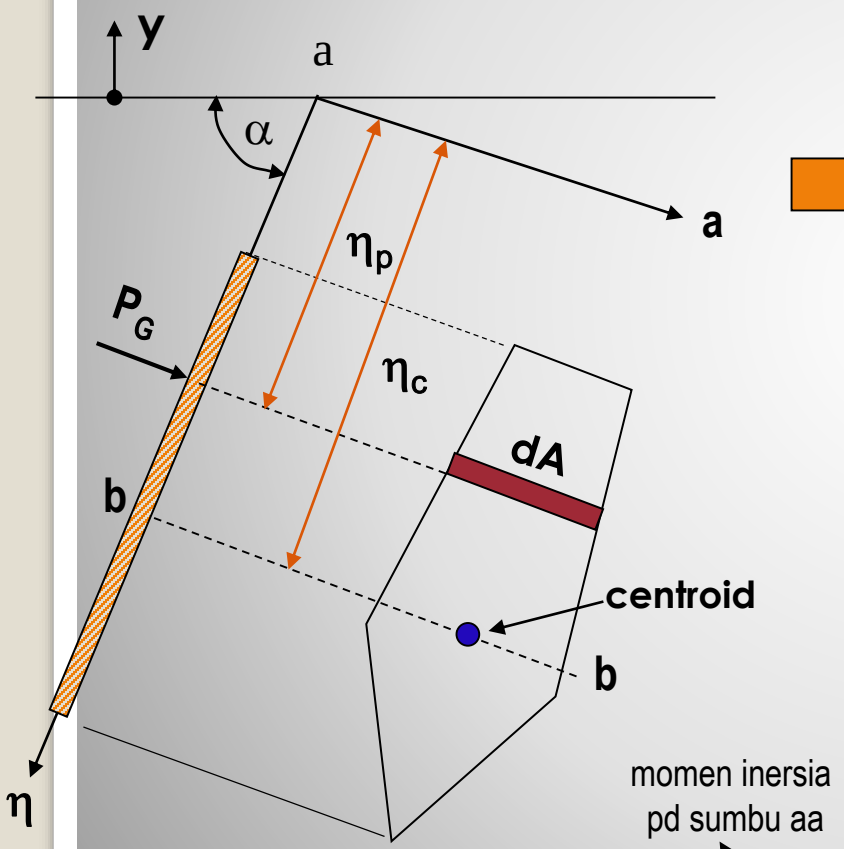
$$dF = P_G dA = -\rho\, \boldsymbol{g} y = \rho g \eta_P \sin\alpha$$

$$F = \rho g \sin\alpha \int_A \eta_P \, dA$$

$$\eta_c = \frac{1}{A}\int_A \eta_P \, dA$$

$$F = \rho g \sin\alpha \, \eta_c A$$

GAYA-GAYA PADA PERMUKAAN TERCELUP (SUBMERGED)



$$F = \rho g \sin\alpha \, \eta_c A$$

Gaya akibat tekanan = tekanan yang dihitung pd centroid dari luasan tercelup dikalikan luas yang tercelup

Pusat tekanan $\neq$ centriod → titik pd papan dimana gaya total hrs dikonsentrasikan agar menghasilkan momen yang sama dengan tekanan yang terdistribusi

$$F\eta_{c.P} = \int_A \eta_p P_G \, dA$$

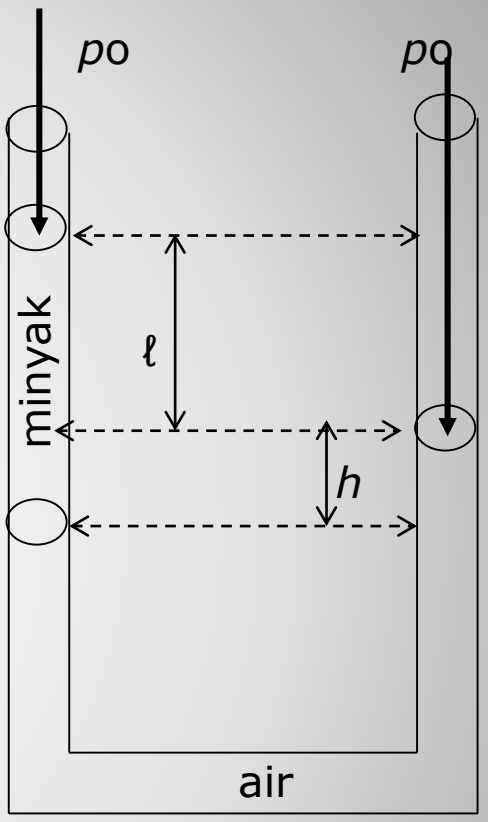
$$F\eta_{c.P} = \int_A \rho g \sin\alpha \, \eta_p^2 \, dA$$

$$\eta_{c.P} = \frac{1}{A\eta_c}\int_A \eta_p^2 \, dA = \frac{I_{aa}}{A\eta_c}$$

$$I_{aa} = I_{bb} + \eta_c^2 A$$

$$\eta_{c.P} - \eta_c = \frac{I_{bb}}{A\eta_c}$$

Pipa bejana U berisi air dan minyak. Selisih tinggi permukaan air pada kedua kaki 0,135 m. Kaki kiri diisi minyak setinggi h + 0,0123 m. Ke-rapatan air ρa dan minyak ρm (lihat gambar). Hitunglah nilai kerapatan minyak (ρm).



Tekanan air, pada kaki kanan nilai (besar) $p = po + \rho a\ g\ h$.

Tekanan minyak, pada kaki kiri $p = po + \rho m\ g\ (h + \ell)$.

Contoh 1

Tekanan yang terletak pada bidang mendatar sama,

Berlaku, $p_o + \rho_a g h = p_o + \rho_m g (h + \ell)$.

Diperoleh persm,

$$\rho_m = \rho_a \frac{h}{h+\ell} \Rightarrow (1000)\left(\frac{0{,}135}{0{,}135+0{,}0123}\right)$$

$$\rho_m = 916 \text{ kg m}^{-3}$$

Hasil tidak tergantung pada tekanan udara luar.

Contoh 1 (Lanjutan)

Batu volume 0,03 m^3 bermassa 70 kg berada di dasar kolam. Berapa besar gaya yang diperlukan untuk mengangkat batu tersebut sampai permuka-an ?

Penyelesaian.

Gaya ke atas disebabkan oleh berat zat cair yang dipindahkan oleh batu.

$$\boldsymbol{F} = \rho\, g\, V$$
$$= (1000 \text{ kg m}^{-3})(10 \text{ m s}^{-2})(0{,}03 \text{ m}^3) = 300 \text{ N}$$

Berat batu, $w = m\, g$
$$= (70 \text{ kg})(10 \text{ m s}^{-2}) = 700 \text{ N}$$

F yang digunakan untuk mengangkat batu sampai permukaan air, (700 N) – (300 N) = 400 N atau seo-lah-olah batu bermassa 40 kg.

Contoh 2

Hitunglah tekanan total yang dialami sebuah benda yang tercelup dalam sumur pada kedalaman 10 m dari permukaan air sumur. Jika percepatan gravitasi di daerah itu adalah sebesar 10 m s^{-2}

Tugas 1

Berapa tekanan yang dialami penyelam yang berada pada posisi 100 m di atas dasar laut ?

(kedalaman laut = 1 km, massa jenis air laut : $1{,}025 \times 10^3$ kg m^{-3})

Tugas 2

Sebuah pipa berbentuk *u* yang memiliki luas penampang kakinya berbeda digunakan untuk mengangkat beban. Berapakah beban maksimum yang dapat diangkat olehnya jika luas penampang yang kecil, $A = 1\ m^2$, diberikan gaya 10^4 N dengan luas penampang yang besar adalah $5\ m^2$?

Tugas 3

TERIMA KASIH