

BAB IV KESEIMBANGAN BENDA TERAPUNG

Tujuan Intruksional Umum (TIU)

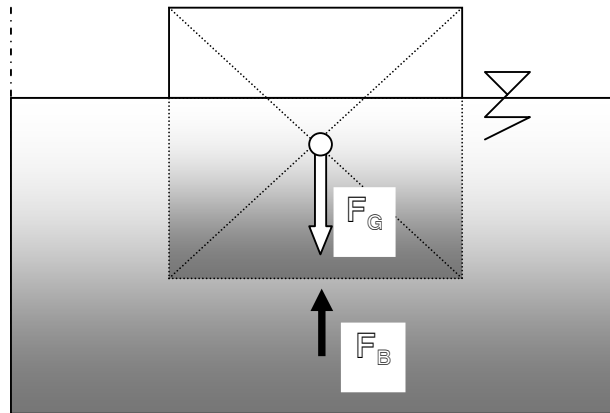
Mahasiswa diharapkan dapat merencanakan suatu bangunan air berdasarkan konsep mekanika fluida, teori hidrostatika dan hidrodinamika.

Tujuan Intruksional Khusus (TIK)

1. Mahasiswa dapat menjelaskan prinsip hukum Archimedes
 2. Mahasiswa dapat menjelaskan prinsip keseimbangan dan kestabilan
 3. Mahasiswa dapat menghitung besar gaya apung dan pusat apung
- Mahasiswa dapat mengevaluasi kestabilan benda terendam atau terapung

4.1. Pendahuluan

Benda yang terendam di dalam air akan mengalami gaya berat sendiri benda (F_G) dengan arah vertikal ke bawah dan gaya tekanan air dengan arah vertikal ke atas. Gaya ke atas ini disebut dengan gaya apung atau gaya Buoyancy (F_B). Ilustrasi gaya-gaya yang bekerja pada benda yang terendam dalam air dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Gaya-gaya yang bekerja pada benda yang terendam dalam air

Jika :

$$F_G > F_B \text{ maka benda pada kondisi tenggelam} \quad (4.1)$$

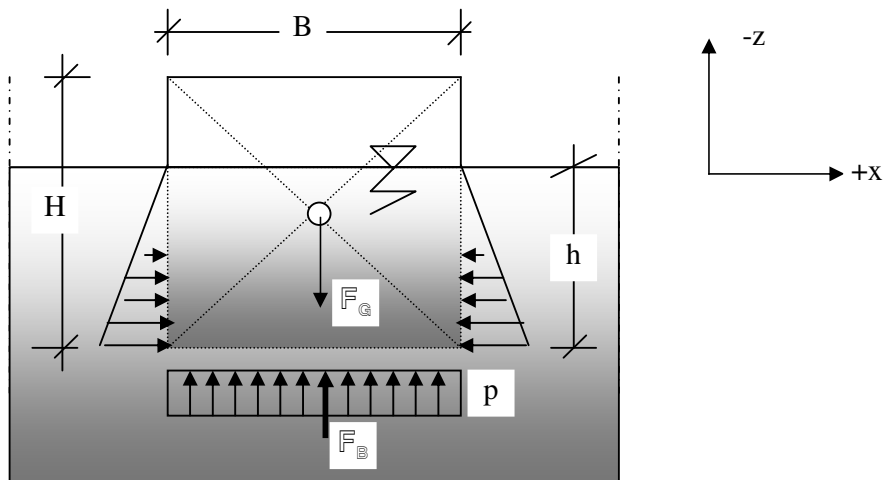
$$F_G = F_B \text{ maka benda pada kondisi melayang (terendam)} \quad (4.2)$$

$$F_G < F_B \text{ maka benda pada kondisi terapung} \quad (4.3)$$

4.2. Hukum Archimedes

Hukum Archimedes (285-212 SM) menyatakan bahwa benda yang terapung atau terendam dalam zat cair akan mengalami gaya apung sebesar berat zat cair yang dipindahkan oleh benda tersebut.

Hukum Archimedes dapat diterangkan dengan memandang suatu benda sembarang yang terendam dalam zat cair diam (Gambar 4.2).



Gambar 4.2. Gaya-gaya yang bekerja pada benda sembarang yang terendam
Gaya-gaya yang bekerja adalah berat sendiri benda (F_G) dan gaya hidrostatis yang bekerja pada seluruh permukaan yang terendam. Karena benda diam, maka gaya

hidrostatik pada arah horizontal akan sama besar dan saling meniadakan, sedangkan gaya hidrostatik yang bekerja pada permukaan dasar benda merupakan gaya apung atau gaya Buoyancy (F_B). Jika perhitungan dinyatakan dalam persatuan lebar maka:

$$F_G = \gamma_b BH \quad (4.4)$$

$$F_B = p \cdot B, \text{ dimana } p = \gamma_{air} \cdot h \quad (4.5)$$

Bila benda dalam keadaan diam, maka resultan gaya arah vertikal maupun horisontal sama dengan nol.

$$\text{a. } \sum F_x = 0 \quad (4.6)$$

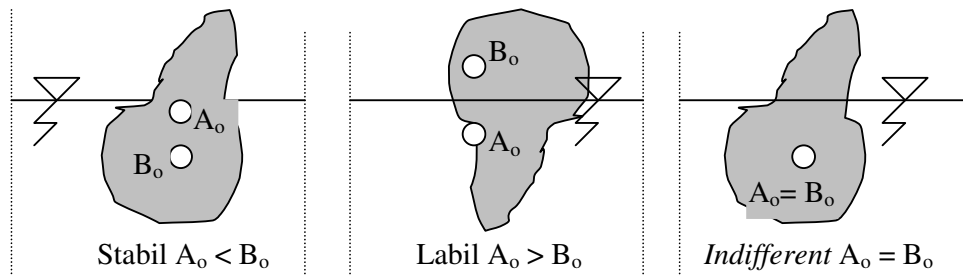
$$\begin{aligned} \text{b. } \sum F_z = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} F_B = F_G \\ p \cdot B = F_G \\ F_G = \gamma_{air} \cdot h \cdot B \\ F_G = \gamma_{air} \cdot A \end{array} \right. \quad (4.7) \end{aligned}$$

dengan A adalah volume persatuan lebar benda yang terendam.

4.3. Kestabilan Benda Terapung

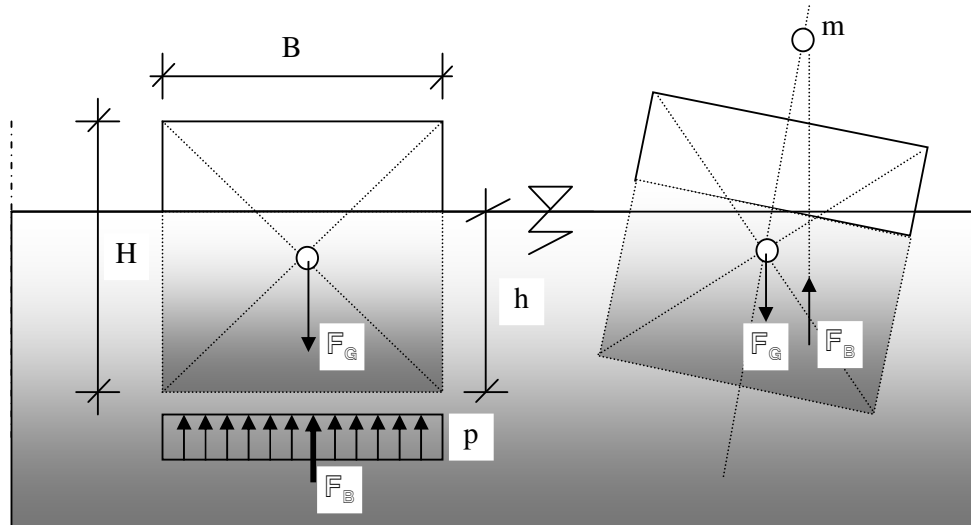
Suatu benda dikatakan stabil bila benda tersebut tidak terpengaruh oleh gangguan kecil (gaya) yang mencoba membuatnya tidak seimbang. Bila sebaliknya benda itu dikatakan dalam keadaan tidak stabil atau labil. Suatu benda terapung dalam keseimbangan stabil apabila titik pusat berat benda (B_o) berada di bawah titik pusat apung benda (A_o) dan jika sebaliknya maka benda dalam keseimbangan

tidak stabil. Apabila titik pusat berat benda (B_o) berimpit dengan titik pusat apung benda (A_o) maka benda dikatakan dalam keseimbangan sembarang (*indifferent*)



Gambar 4.3. Kestabilan benda yang terapung

Kondisi stabilitas benda terendam maupun terapung dapat diketahui berdasarkan tinggi metasentrumnya (m). Titik metasentrum adalah titik potong antara garis vertikal melalui pusat apung benda setelah digoyangkan dengan garis vertikal melalui berat benda sebelum digoyangkan (Gambar 4.4).



Gambar 4.4. Tinggi metasentrum

Tinggi metacentrum ditentukan dengan rumus :

$$m = \frac{I_o}{V} - \overline{A_o B_o} \quad (4.8)$$

dimana :

I_o = momen inersia tampang benda yang terpotong permukaan zat cair

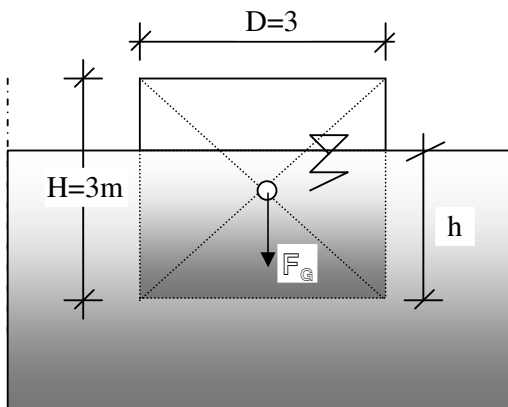
V = volume zat cair yang dipindahkan benda

$\overline{A_o B_o}$ = jarak antara pusat apung dan pusat benda

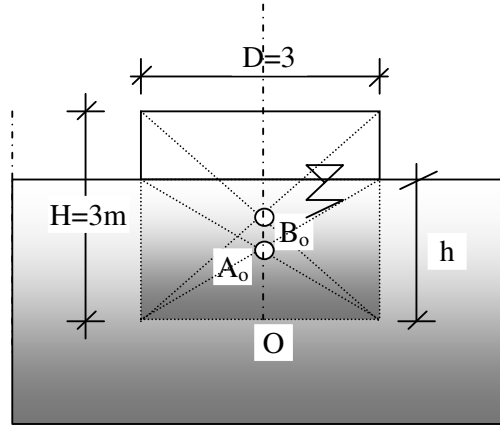
Berdasarkan nilai tinggi metacentrum (m) maka dapat ditentukan bahwa, jika $m > 0$ maka benda dikatakan stabil, $m = 0$ maka benda dikatakan dalam stabilitas netral (*indifferent*), dan jika $m < 0$ benda dikatakan labil.

4.4. Pelatihan

1). Diketahui silinder berdiameter 3 meter dan tinggi 3 meter terbuat dari bahan dengan rapat relatif 0,8. Benda tersebut mengapung di dalam air dengan sumbunya vertikal. Hitung tinggi metacentrum dan selidiki stabilitas benda tersebut.



Penyelesaian



$$S = \frac{\gamma_{benda}}{\gamma_{air}} = 0.8$$

$$\gamma_{benda} = 0.8 \times \gamma_{air} = 0.8 \times 1 = 0.8 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Berat benda, } F_G = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \times H \times \gamma_{benda}$$

$$\text{Berat air yang dipindahkan, } F_B = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \times h \times \gamma_{air}$$

Dalam keadaan mengapung, maka :

$$F_G = F_B$$

$$\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \times H \times \gamma_{benda} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \times h \times \gamma_{air}$$

Kedalaman benda terendam :

$$h = \frac{\gamma_{benda}}{\gamma_{air}} \times H = 0.8 \times 3 = 2.4 \text{ meter}$$

Dari Gambar terlihat bahwa :

$$B_o = \frac{1}{2} H = \frac{1}{2} \times 3 = 1.5 \text{ meter}$$

$$A_o = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \times 2.4 = 1.2 \text{ meter}$$

$$\overline{A_o B_o} = 1.5 - 1.2 = 0.3 \text{ meter}$$

Momen inersia tampang yang terendam (lingkaran)

$$I_o = \frac{1}{64} \times \pi \times D^4$$

$$= \frac{1}{64} \times 3.14 \times 3^4$$

$$= 3.9761 \text{ m}^4$$

Volume air yang dipindahkan

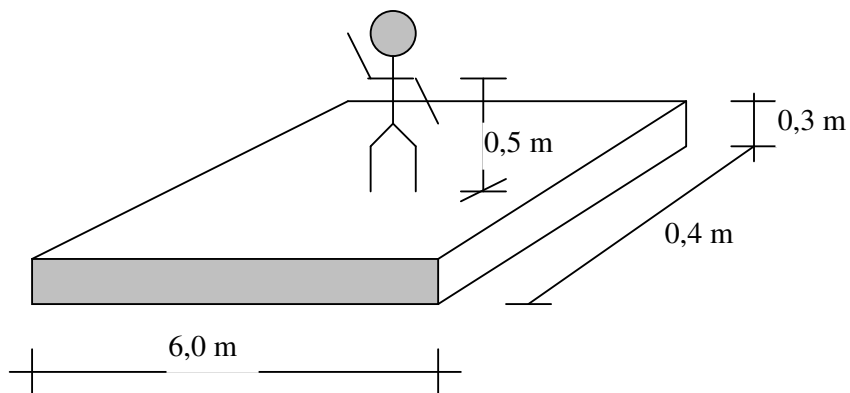
$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times h \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 3^2 \times 2,4 \\ &= 16,965 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tinggi metasentrum

$$\begin{aligned} m &= \frac{I_o}{V} - \overline{A_o B_o} \\ &= \frac{3,9761}{16,965} - 0,3 \\ &= -0,066 \text{ meter} \end{aligned}$$

Karena $m < 0$, menunjukkan bahwa m berada di bawah B_o , sehingga benda tidak stabil

2). Diketahui seorang dengan berat 100 kg, berdiri di tengah papan yang ada di air. Ukuran papan : p x l x t adalah 6 m x 0,4 m x 0,3 m. Letak titik pusat berat orang 0,5 meter di atas papan. Bila $\gamma_{\text{kayu}} = 0,8 \text{ t/m}^3$ dan $\gamma_{\text{air}} = 1,0 \text{ t/m}^3$, selidikilah kestabilan pengapungannya.



Penyelesaian

$$\text{Berat papan} = 0,3 \times 0,4 \times 6 \times 0,8 = 0,576 \text{ ton}$$

$$\text{Berat orang} = 0,1 \text{ ton}$$

$$\text{Berat total, } F_G = 0,676 \text{ ton}$$

Titik berat seluruh benda (dari dasar papan)

$$F_G \cdot B_o = 0,1 (0,5 + 0,3) + 0,576 \times \frac{1}{2} \times 0,3$$

$$B_o = \frac{0,1 \times 0,8 + 0,576 \times 0,15}{0,676}$$

$$= 0,268 \text{ meter (dari dasar papan)}$$

Misalkan papan tenggelam sedalam h meter, maka :

Volume yang dipindahkan adalah

$$V = \frac{F_G}{\gamma_{air}}$$

$$6 \times 0,4 \times h \times \gamma_{air} = F_G$$

$$2,4 \times h = 0,676$$

$$h = 0,282 \text{ meter}$$

Letak pusat apung

$$A_o = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \times 0,282 = 0,141 \text{ meter}$$

$$\text{Maka : } \overline{A_o B_o} = 0,268 - 0,141 = 0,127 \text{ meter}$$

Momen inersia tampang yang terendam (persegi panjang)

$$I_o = \frac{1}{12} BH^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 6 \times 0,4^3$$

$$= 0,032 \text{ m}^4$$

Volume air yang dipindahkan

$$\begin{aligned}V &= 6 \times 0,4 \times h \times \gamma_{\text{air}} \\ &= 6 \times 0,4 \times 0,282 \times 1 \\ &= 0,676 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Tinggi metasentrum

$$\begin{aligned}m &= \frac{I_o}{V} - \overline{A_o B_o} \\ &= \frac{0,032}{0,676} - 0,127 \\ &= -0,0797 \text{ meter}\end{aligned}$$

Karena $m < 0$, menunjukkan bahwa m berada di bawah B_o , sehingga benda tidak stabil