

BAHAN AJAR PROGRAM STUDI NAUTIKA

**KONSTRUKSI DAN STABILITAS  
KAPAL  
(UNTUK PROFESI KEPELAUTAN ANT – III)**

Sutini

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena ridho-Nya sehingga bahan ajar yang berjudul "Konstruksi Dan Stabilitas Kapal untuk profesi Kepelautan ANT-III Program Studi Nautika" dapat penulis selesaikan.

Bahan ajar ini ditulis sesuai dengan Kurikulum, Silabus dan Rencana Pelaksanaan Pembelajaran yang disusun mengikuti Standar Kompetensi sebagaimana dipersyaratkan oleh Konvensi Internasional SCTW 1995 Amandemen Manila 2010.

Bahan ajar ini akan selalu direvisi sesuai perkembangan dan situasi SCTW, oleh sebab itu saran serta kritik yang membangun dari para pembaca maupun taruna dapat berlatih semaksimal mungkin.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya bagi semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian bahan ajar ini, Semoga Allah SWT meridhoi semua jerih payah dan perjuangan kita untuk memberdayakan dan memperanaktifkan Pelaut Indonesia. Selamat belajar dan semoga sukses selalu.

Semarang, Februari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

Cover .....	i
Kata Pengantar .....	ii
Daftar Isi .....	iii
Daftar Gambar .....	v
Bab 1 Pendahuluan .....	1
1.1 Kompetensi Dasar .....	1
1.2 Uraian Materi .....	1
1.3 Penugasan .....	8
1.4 Daftar Pustaka .....	18
Bab 2 Merkah Kambangan .....	19
2.1 Kompetensi Dasar .....	19
2.2 Uraian Materi .....	19
2.3 Penugasan .....	29
2.4 Daftar Pustaka .....	30
Bab 3 Stabilitas Awal .....	31
3.1 Kompetensi Dasar .....	31
3.2 Uraian Materi .....	31
3.3 Penugasan .....	44
3.4 Daftar Pustaka .....	51
Bab 4 Free Surface .....	52
4.1 Kompetensi Dasar .....	52
4.2 Uraian Materi .....	52
4.3 Penugasan .....	56
4.4 Daftar Pustaka .....	56
Bab 5 Angle Of Loll .....	58
5.1 Kompetensi Dasar .....	58
5.2 Uraian Materi .....	58
5.3 Daftar Pustaka .....	61
Bab 6 Stabilitas Statis Dengan Sudut Sanget Besar .....	62
6.1 Kompetensi Dasar .....	62
6.2 Uraian Materi .....	62
6.3 Penugasan .....	66
6.4 Daftar Pustaka .....	67
Bab 7 Lengkungan Stabilitas Statis .....	68
7.1 Kompetensi Dasar .....	68
7.2 Uraian Materi .....	68
7.3 Penugasan .....	72

7.4	Daftar Pustaka .....	77
Bab 8	Stabilitas Dinamis Dinamical Stability .....	78
8.1	Kompetensi Dasar .....	78
8.2	Uraian Materi .....	78
8.3	Penugasan .....	81
8.4	Daftar Pustaka .....	83
Bab 9	Trim .....	84
9.1	Kompetensi Dasar .....	84
9.2	Uraian Materi .....	84
9.3	Penugasan .....	128
9.4	Daftar Pustaka .....	129
Bab 10	Masuk Dock dan Kandas .....	130
10.1	Kompetensi Dasar .....	130
10.2	Uraian Materi .....	130
10.3	Penugasan .....	138
10.4	Daftar Pustaka .....	139
Bab 11	Stabilitas pada Kapal yang Bocor .....	137
11.1	Kompetensi Dasar .....	137
11.2	Uraian Materi .....	137
11.3	Daftar Pustaka .....	154

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Coefficient of Water Plane Area ( $C_w$ ) .....	3
Gambar 1.2	Volume Benaman .....	4
Gambar 1.3	Tones Per Centimeter (TPC) .....	4
Gambar 1.4	Lengkungan TPC .....	6
Gambar 1.5	Lengkungan Displacement .....	7
Gambar 1.6	Daya Apung Cadangan .....	7
Gambar 2.1	Merkah Kambangan .....	19
Gambar 2.2	Merkah Kambangan Kapal Barang & Kapal Pengangkut Kayu pada Lambung Kanan .....	20
Gambar 2.3	Pembagian Daerah Musim .....	23
Gambar 2.4	Displacement Tetap .....	25
Gambar 2.5	Displacement Berubah .....	26
Gambar 3.1	Pergerakan Titik Berat Kapal .....	34
Gambar 3.2	Perubahan titik G karena Pengurangan Bobot.....	35
Gambar 3.3	Diagram Metasentris .....	36
Gambar 3.4	Lengkungan Hydrostatis.....	37
Gambar 3.5	Kapal Berbentuk Kotak .....	38
Gambar 3.6	Kapal berbentuk Segitiga Prisma .....	38
Gambar 3.7	Kapal Berbentuk Biasa / Umum.....	39
Gambar 3.8	Percobaan Stabilitas.....	41
Gambar 5.1	GM Awal Negatif .....	58
Gambar 5.2	Kemiringan Berlanjut .....	58
Gambar 5.3	Kemiringan Melebihi Angle of Loll .....	59
Gambar 5.4	Kurva Stabilitas Statis .....	60
Gambar 6.1	Kapal dalam Posisi Tegak Dan Memiliki Stabilitas Statis .....	63
Gambar 6.2	Titik B Bergerak Ke Arah Senget Kapal .....	63
Gambar 6.3	Wall Side Formula.....	64
Gambar 7.1	Lengkung Stabilitas Statis .....	68
Gambar 7.2	Stabilitas dan Kurva Hydrostatic.....	71
Gambar 7.3	Cross Curves of Stability.....	72
Gambar 8.1	Energi Potensial.....	78
Gambar 8.2	Kapal Tegak mengalami Kapal Senget .....	79
Gambar 9.1	Kondisi Trim .....	84
Gambar 9.2	Jarak G dan B .....	85
Gambar 9.3	Kapal Even Keel.....	88
Gambar 9.4	Bobot w Digeser Sejauh d Kedepan .....	88
Gambar 9.5	Draft Depan Membesar dan Draft Belakang Mengecil .....	88

Gambar 9.6	Menentukan Perubahan Draft.....	90
Gambar 9.7	New Draft .....	90
Gambar 9.8	Ketinggian Metasentrik .....	106
Gambar 9.9	Berat Badan Digeser secara Horizontal.....	106
Gambar 9.10	Kapal melakukan Trim .....	107
Gambar 9.11	Pengaruh Trim terhadap Sounding Tangki.....	117
Gambar 9.12	Pengaruh Perubahan Berat Jenis terhadap Draft dan Trim .....	120
Gambar 9.13	Draft Rata – Rata .....	123
Gambar 9.14	Pergesaran Bobot.....	123
Gambar 9.15	Draft yang Sebenarnya .....	125
Gambar 9.16	Cof Berimpit dengan Midship .....	126
Gambar 10.1	Gaya Lunas Menyentuh Dock.....	130
Gambar 10.2	Penampang Melintang Sebuah Kapal.....	131
Gambar 10.3	Risultan Gaya .....	132
Gambar 10.4	Seolah – Olah Gaya Bergeser Naik .....	133
Gambar 11.1	Pengaruh Kebocoran terhadap Stabilitas Kapal .....	140
Gambar 11.2	Permeabilitas .....	143
Gambar 11.3	Kapal Bocor pada Ujung Depan.....	146

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 KOMPETENSI DASAR**

Di dalam bab ini akan membahas mengenai *Loaded Displacemen dan Light Displacemen*, Hubungan Volume Benaman dan *Displacement*. Tujuan kami menyusun keterangan mengenai *Displacement*, *Light displacement* dan volume benaman, *Loaded Displacement*, *Dead Weight Tonnage (DWT)* . Sehingga setelah selesai mempelajari bab ini Pembaca dan para Taruna dapat :

1. Menjelaskan Pengertian *Displacement*
2. Menjelaskan pengertian *Loaded displacement*, *Light displacemen*, Volume Benaman, dan DWT.

### **1.2 URAIAN MATERI**

#### **Pengertian**

1. Displacement atau sering disebut berat benaman adalah berat zat cair yang dipindahkan oleh badan kapal yang berada dibawah permukaan cairan dimana kapal berada. Dengan pengertian ini dapat dikatakan bahwa displacement merupakan berat kapal beserta isinya.
2. Berat kapal adalah berat kapal kosong (*light displacement*) sedangkan berat semua beban yang ada diatas kapal (*dead weight tonnage*).
3. *Dead Weight Tonnage (DWT)* sering disebut bobot mati atau daya angkut kapal, adalah kemampuan kapal untuk mengangkut beban sampai draft maksimum yang diijinkan . Yang dimaksud beban adalah semua benda yang dapat diangkut misalnya : muatan (cargo DWT), ballast, bahan bakar, air tawar, store, permakanan, sisa-sisa dunnage, dll (constand)
4. Loaded displacement adalah displacement saat kapal mempunyai draft maksimum yang diijinkan.

Dengan pengertian ini maka dapat dirumuskan bahwa :

$\text{Loaded Displacement} = \text{light displacement} + \text{cargo DWT} + \text{operating load pada draft maksimum} + \text{constand}$	..... 1.1
---	-----------

$\text{Displacement saat itu} = \text{Light displacement} + \text{cargo DWT} + \text{operating load pada draft saat itu} + \text{constand}$	..... 1.2
---	-----------

5. Draft adalah jarak tegak antara lunas kapal dengan permukaan cairan dimana kapal berada.
6. *Volume Displacement* adalah volume zat cairan yang dipindahkan oleh badan kapal yang berada dibawah permukaan cairan dimana kapal berada.

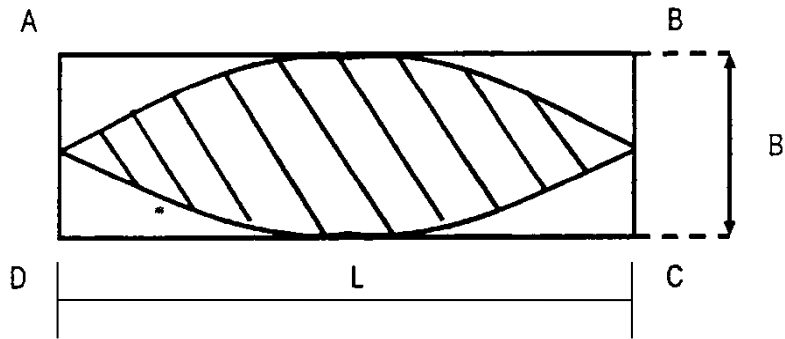
Jadi secara umum:

$\text{Displacement} = \text{Volume Benaman} \times \text{Berat jenis}$	..... 1.3
---	-----------

7. *Dead Weight Scale* (Skala Bobot Mati ) adalah suatu diagram yang dipergunakan untuk mencari displacement, DWT, TPC, MCTC pada draft saat itu .

**Luas Dan Volume**

1. Coefisient of Water Plane Area (Cw) adalah perbandingan antara luas bidang air dengan segi empat yang panjang dan lebarnya sama dengan panjang kapal tersebut.(Gb. 1.1)



**Gambar 1.1 Coefficient of Water Plane Area (Cw)**

$C_w = \frac{\text{Area Bidang Air}}{\text{Area ABCD}}$	..... 1.4
---	-----------

Atau

$\text{Area Bidang Air} = L \times B \times C_w$	..... 1.4
--	-----------

L = Panjang Kapal ( meter)

B = Lebar kapal (meter)

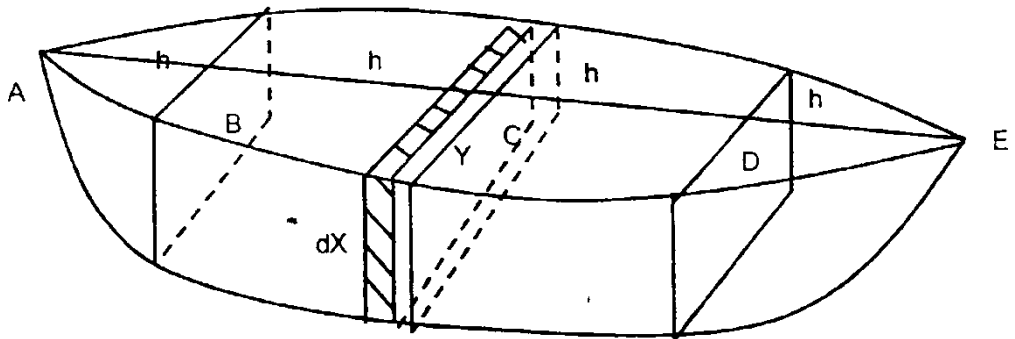
**Volume Benaman**

Volume benaman kapal dari berbagai bentuk dan berbagai draft dapat dihitung dengan menggunakan rumus-rumus Simpson's Rule, yaitu dengan membagi sama secara tegak dari lunas sampai draft saat itu. Bagian-bagian ini merupakan luas bidang air yang berfungsi sebagai ordinat-ordinat.

Kecuali juga bisa dengan membagi panjang kapal secara melintang dan bagian-bagian ini luas bidang air secara yang berfungsi sebagai ordinat-ordinat. (Gambar. 1.2)

Selanjutnya untuk mendapatkan volume benaman dipergunakan rumus Simpson's. Umpama,

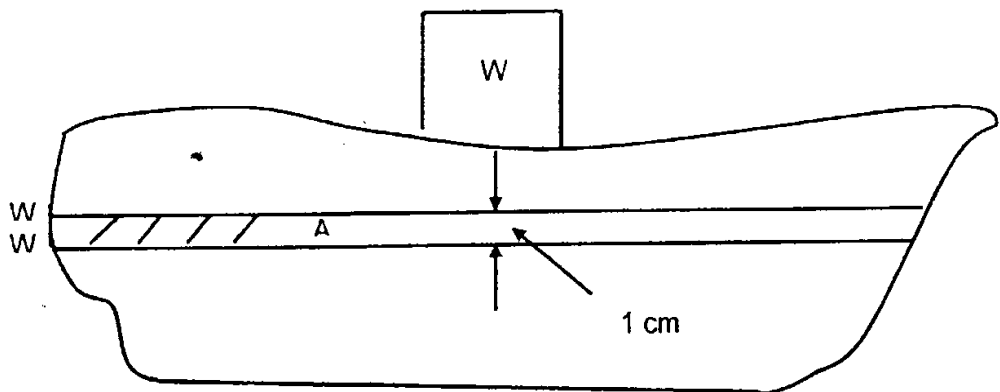
$\text{Volume Benaman} = \frac{1}{3} h (A + 4B + 2C + 4D + E) \dots\dots\dots 1.15$
---



**Gambar 1.2 Volume Benaman**

**Tones Per Centimeter (Tpc)**

TPC adalah nilai suatu bobot yang harus dimuat atau dibongkar, agar draft rata-rata kapal berubah 1 cm. (Gambar. 1.3)



**Gambar 1.3 Tones Per Centimeter (TPC)**

Misalkan sebuah kapal terapung di air laut pada garis air W'L' yang nampak pada gambar di atas. Kita umpamakan bahwa A adalah luas dari bidang air dalam meter persegi. Kalau sekarang sebuah bobot w dimuat sehingga sarat rata-ratanya bertambah satu sentimeter dan kapal terapung pada garis air W'L'. Karena saratnya bertambah satu sentimeter, maka berat w tadi adalah sama dengan TPS dengan demikian maka berat air yang dipindahkan sama dengan AWP x 1 cm x Berat Jenis. atau,

$$\begin{aligned}
 \text{TPC} &= \text{Volume} \times \text{Berat Jenis} \\
 &= A \text{ m}^2 \times 1 \text{ cm} \times 1,025 \text{ Tonnes/m}^3 \\
 &= A \text{ m}^2 \times \frac{1}{100} \text{ m} \times 1,025 \text{ Tonnes/m}^3 \\
 &= \frac{1,025 \text{ AWP}}{1.000} \text{ tonnes}
 \end{aligned}$$

Jadi,

$\text{TPC} = \frac{1,025 \text{ AWP}}{100}$	..... 1.16
--	------------

Catatan :

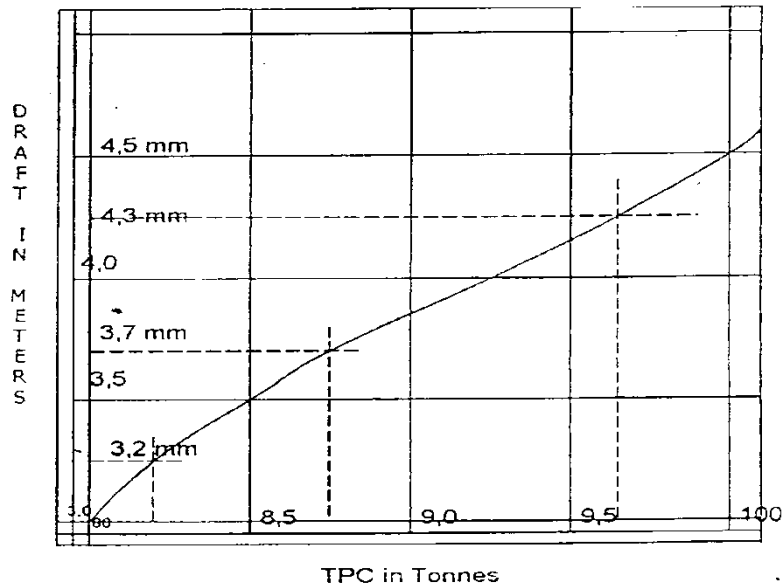
- a. Rumus tersebut berlaku jika kapal mengapung di air laut, jika kapal mengapung di air tawar maka :

$\text{TPC} = \frac{\text{AWP}}{100}$	..... 1.17
---------------------------------------	------------

- b. Besar kecilnya TPC sangat dipengaruhi oleh panjangnya kapal, lebar kapal, bentuk badan kapal yang berada di bawah permukaan cairan, sedangkan L.B dan bentuk badan kapal tergantung dari draft. Jadi TPC sangat tergantung dari arah draft.

## Lengkungan Tpc

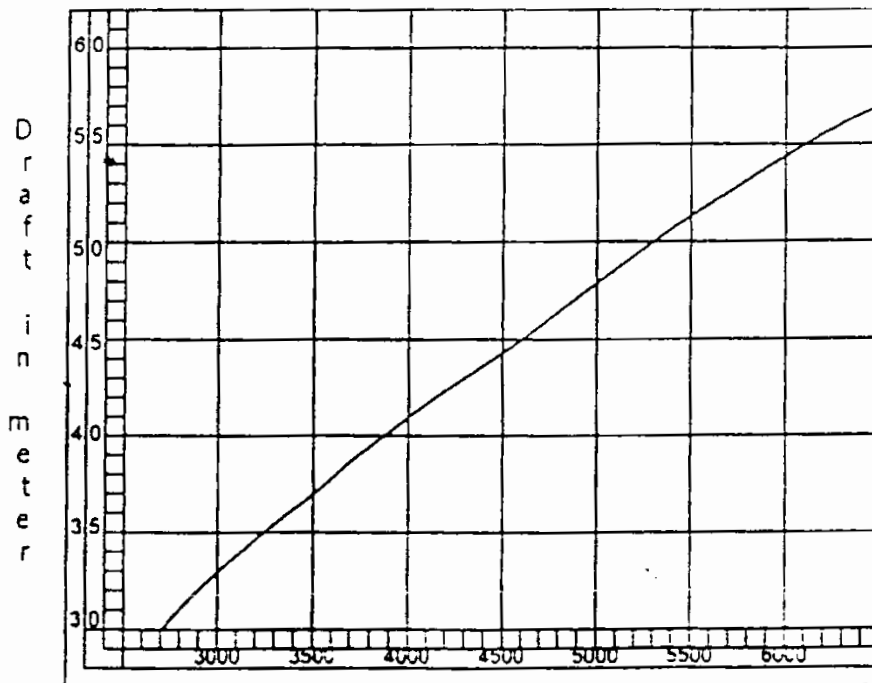
TPC sangat dipengaruhi oleh bentuk badan kapal yang berada di bawah permukaan cairan dimana kapal berada, hal ini dapat dipahami karena luas bidang air tidak sama untuk setiap draft. Sedangkan TPC harus dihitung untuk semua draft dari light displacement sampai loaded displacement, dengan argument draft rata-rata. TPC ini dapat dilihat pada dead weight scale. Kemudian dengan variable TPC dan draft rata-rata dapat dilukis suatu lengkungan (grafik) yang disebut lengkung TPC. Gunanya untuk mempermudah cara mendapatkan TPC.



**Gambar 1.4** Lengkungan TPC

## Lengkungan Displacement

Lengkung displacement digunakan untuk mencari displacement pada draft yang bersangkutan atau sebaliknya displacement di berbagai draft. Skala draft dilukis pada sisi tegak dan skala displacement dilukis pada sisi mendatar. (**Gambar. 1.5**).

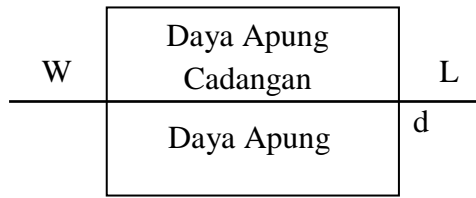


**Gambar 1.5 Lengkungan Displacement**

Sebagai rumus umum, skala sebesar apapun harus menjamin agar memenuhi ketelitian yang dapat diterima. Tidak perlu bahwa gambar skala itu harus dimulai dari nol bila informasi yang diperlukan hanya draft antara kapal kosong dan load displacement saja.

### **Daya Apung Cadangan**

Sebuah kapal yang terapung akan memindahkan air yang sama dengan beratnya. Oleh karena itu bagian badan kapal yang berada di atas air merupakan daya apung kapal. Bila ada berat yang dimuatkan untuk menambah kepindahan airnya, maka ruangan di atas garis air itu menunjukkan Daya Apung Cadangan yang diperlukan. Jadi, daya apung cadangan ialah merupakan volume ruangan-ruangan yang berada di atas garis air ini dapat disebutkan sebagian volume atau prosentase dari jumlah volume kapal (gambar. 1.6).



**Gambar 1.6 Daya Apung Cadangan**

### Center Of Floatation (Cof)

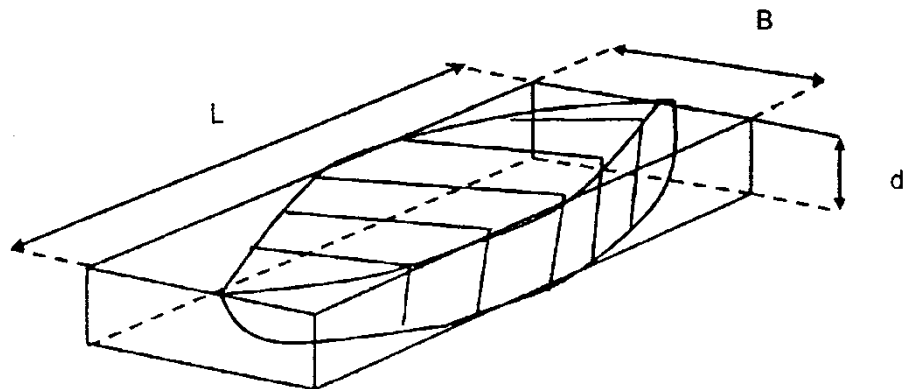
Center of Floatation atau pusat gaya apung adalah pusat gaya berat atau titik berat dari pada luas bidang air, yang letaknya di sekitar tengah-tengah kapal. Center of Floatation: digunakan sebagai dasar perhitungan trim.

## 1.3 PENUGASAN

### Penugasan 1

Hitunglah luas bidang air sebuah kapal yang mempunyai panjang 36 m dan lebar 6 m, jika diketahui  $C_w = 0,8$ . Luas bidang air =  $36 \times 6 \times 0,8 = 172,8 \text{ m}^2$

Block Coefficient ( $C_b$ ) adalah perbandingan antara volume benamana sebuah kapal pada draft saat itu dengan volume balok yang panjang, lebar dan dalamnya sama dengan panjang, lebar dan draft rata-rata kapal sat itu.



$$C_b = \frac{\text{volume Benaman}}{L \times B \times d} \dots\dots\dots 1.6$$

Atau

$$\text{Volume benaman} = L \times B \times d \times C_b \dots\dots\dots 1.7$$

L = Panjang kapal pada saat draft sat itu ( meter )

B = Lebar kapal pada draft saat itu ( meter )

d = Draft saat itu ( meter )

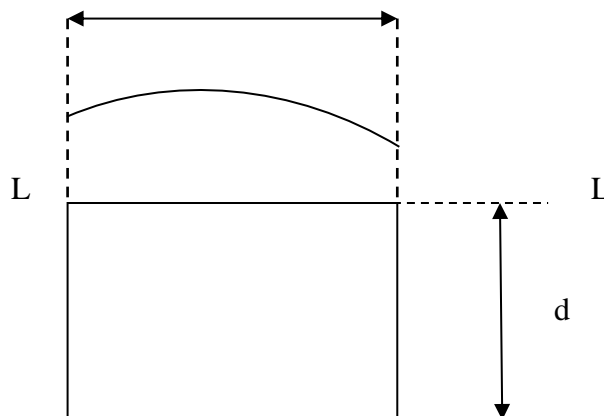
**Penugasan 2**

Hitunglah volume benaman kapal jika diketahui panjang 10 m, lebar 2,7 m, draft 1m  $C_b = 0,6 \text{ m}^3$

Volume benaman =  $L \times B \times d \times C_b$

Volume benaman =  $10 \times 2,7 \times 0,6 = 16,2 \text{ m}^3$

Midship Coefficient (Cm) adalah perbandingan antara luas penampang melintang tengah-tengah kapal dengan luas segi empat yang lebar dan dalamnya sama dengan luas segi empat yang lebar dan dalamnya sama dengan lebar dan draft kapal saat itu.



$$C_m = \frac{\text{Area Midship } (A_m)}{B \times d} \dots\dots\dots 1.8$$

Atau

$$\text{Area Midship } (A_m) = B \times d \times C_m \text{ m}^2 \dots\dots\dots 1.9$$

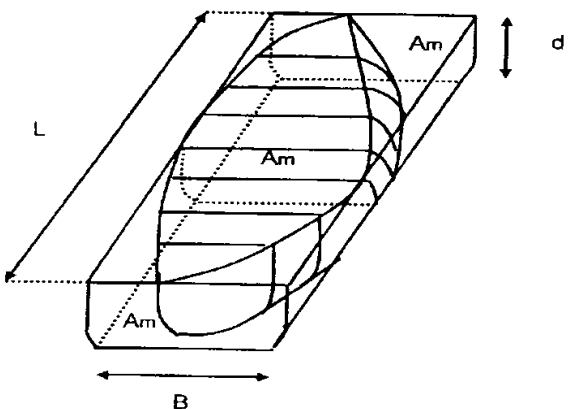
B = Lebar kapal pada draft saat itu ( meter )

D = Draft saat itu ( meter )

**Penugasan 3**

Hitunglah area midship jika diketahui lebar kapal 100 dm, draft 150 cm dan  $C_m = 0,9$ . Area midship =  $10 \times 1,5 \times 0,9 = 135 \text{ m}^2$

Prismatik Coefficient (  $C_p$  ) adalah perbandingan antara volume benaman sebuah kapal dengan prisma yang panjangnya sama dengan panjang kapal dan luas tengah-tengahnya sama dengan luas midship ( $A_m$ ) pada draft saat itu. (Gb 1.4)



$$C_p = \frac{\text{Volume Benaman}}{\text{Volume Prisma}} \dots\dots\dots 1.10$$

Atau

$$\text{Volume Benaman} = L \times A_m \times C_p \dots\dots\dots 1.11$$

L = Panjang kapal pada draft saat itu (meter)

A<sub>m</sub> = Luas midship pada draft saat itu.

$$\boxed{C_m \times C_p = C_b} \dots\dots\dots 1.12$$

**Penugasan 4**

Hitunglah volume benaman jika diketahui panjang kapal 150 m, luas prisma ditengah-tengah kapal = 20 m<sup>2</sup> dan C<sub>p</sub> = 0,8.

Volume benaman = 150 x 20 x 0,8 = 2.400 m<sup>3</sup>

Simpson's Rule

Rumus Simpson's Rule merupakan rumus pendekatan yang dapat digunakan untuk menghitung luas dan volume suatu benda yang bentuknya tidak beraturan.

1) Simpson's Rule Pertama ( SM 141)

Rumus ini hanya digunakan khusus untuk Simpson's ( SM ) yang ordinatnya ganjil dan minimal 3.

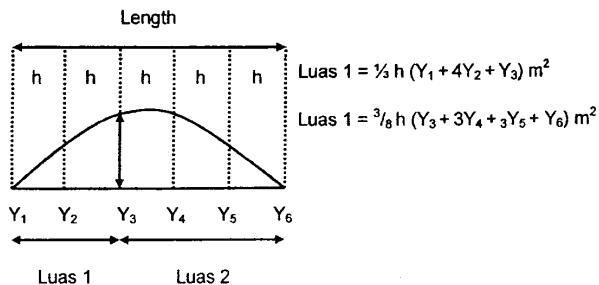
$$\boxed{\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{1}{3} h (Y_1 + 4Y_2 + Y_3) \text{ m}^2 \\ &= \frac{1}{3} \times h_{57,3} (Y_1 + 4Y_2 + Y_3) \text{ MR} \end{aligned}} \dots\dots\dots 1.13$$

2) Simpson's Rule Kedua (SM1331)

$$\boxed{\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{3}{8} h (Y_1 + 3Y_2 + 3Y_3 + 1Y_4) \text{ m}^2 \\ &= \frac{3}{8} \times h_{57,3} (Y_1 + 3Y_2 + Y_3 + 3Y_3 + 1Y_4) \text{ MR} \end{aligned}} \dots\dots\dots 1.14$$

Rumus ini digunakan khusus untuk Simpson's (SM) yang ordinatnya 4; 7; 10; 13; dst, dengan beda ordinat 3.

3) Korelasi Simpson's Rule Pertama dan Kedua



### Penugasan 5

Area-area dari bidang air kapal adalah sebagai berikut:

Sarat (m)	0	1	2	3
Area dan WP (m <sup>2</sup> )	650	660	662	661

Hitunglah displacement kapal dalam ton jika terapung di air laut pada sarat 4 m.

Area	SM	Hasil Volume
650	1	650
660	4	2640
662	2	1324
661	4	2644
660	1	660
		7.918

### Penugasan 6

- Lukiskan lengkung TPC dengan data sebagai berikut :
- Dari gambar itu carilah TPC pada draft 3,2 m; 3,7 m; dan 4,3 m.
- Bila kapal saat itu mendraftnya 4 m dan muat 50 ton, 10 ton air tawar, 25 ton bahan bakar, sedangkan 45 ton ballast dibuang berapa draftnya sekarang?

#### Jawab :

- Dari gb. 1.4
- |                      |   |          |
|----------------------|---|----------|
| TPC pada draft 3,2 m | = | 8,17 ton |
| TPC pada draft 3,7 m | = | 8,77 ton |
| TPC pada draft 4,3 m | = | 9,68 ton |
- |                          |   |               |
|--------------------------|---|---------------|
| TPC pada draft 4m        | = | 9,2 ton       |
| Barang yang dimuat       | = | 50 ton        |
| Air tawar                | = | 10 ton        |
| Bahan bakar              | = | <u>25 ton</u> |
| Jumlah bobot yang dimuat | = | 85 ton        |
| Bobot yang dibongkar     | = | <u>45 ton</u> |

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tambahan bobot} &= 40 \text{ ton} \\ \text{Penambahan draft} &= \frac{W}{\text{TPC}} \\ &= \frac{40}{9,2} = 4,35 \text{ cm} = 0,044 \text{ m} \\ \text{Draft semula} &= 4,000 \text{ m} \\ \text{Draft baru} &= 4,004 \text{ m} \end{aligned}$$

**Catatan :**

Apabila jumlah tambahan bobot sangat besar, maka seolah-olah ada perbedaan TPC antara draft semula dan draft baru. Untuk memperoleh perubahan draft maka caranya adalah sebagai berikut.

Mula-mula carilah draft baru kira-kira dengan menggunakan TPC draft semula, kemudian, kita dapatkan TPC kira-kira untuk draft barunya itu. Dengan menggunakan TPC rata-ratanya antara kedua TPC itu kita hitung penambahan atau pengurangan dari draft itu.

**Penugasan 7**

- a. Lukiskan displacement kurva dengan data sebagai berikut :

Draft	3	3,5	4	4,5	5	5,5
Displacemnet (ton)	2.700	3.260	3.800	4.450	5.180	6.060

- b. Bila light draftnya adalah 3 m, dan load draftnya 5,5 m carilah dead weightnya!
- c. Carilah draft kapal bila terdapat bahan bakar 500 ton dan air 50 ton air tawar di atas kapal!
- d. Bila pada mean draft 5,13 m kapal membongkar 2.100 ton muatan kemudian memuat bahan bakar sebanyak 250 ton. Carilah draft barunya.
- e. Carilah TPC kira - kira pada mean draft 4,4 m!
- f. Bila draft kapal saat itu 5.2 m dan load mean draftnya 5,5 m. Hitunglah berapa ton lagi yang dapat dimuat!



$$\begin{aligned}
 \text{Volume kapal} &= 110 \times 30 \times 20 \text{ m}^3 \\
 &= 66.000 \text{ m}^3 \\
 \text{Daya apung} &= \text{Volume kapal} - \text{volume displacement} \\
 \text{cadangan} &= \\
 &= 46.000 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Daya apung cadangan = volume kapal - volume displacement	..... 1.18
--	---------------

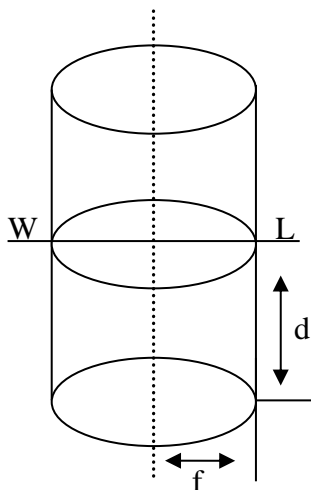
**Penugasan 9**

Sebuah drum panjang 2 m, diameter 0,6 m, berat 0,02 tonnes berisi 200 liter minyak yang berat jenisnya 0,6 mengapung di air yang berat jenisnya 1.024.

Hitunglah:

- a. Letak titik apung
- b. Daya apung
- c. Daya apung cadangan

**Jawab :**



Masukkan draft = d meter

Berat air yang dipindahkan = berat drum + berat minyak

$$\pi r^2 \times d \times \text{Berat jenis cairan} = 0,02 + (0,2 \times 0,6)$$

$$3,14 \times 0,09 \times d \times 1,024 = 0,14$$

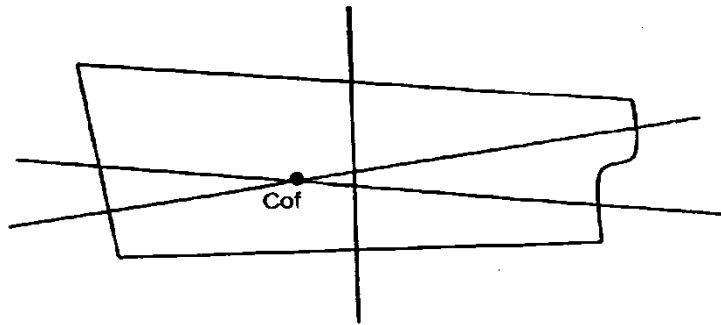
$$d = \frac{0,14}{3,14 \times 0,09 \times 1,024} = 0,484 \text{ m}$$

Jadi, letak B =  $\frac{1}{2}$  (0,484) = 0,242 m dari dasar

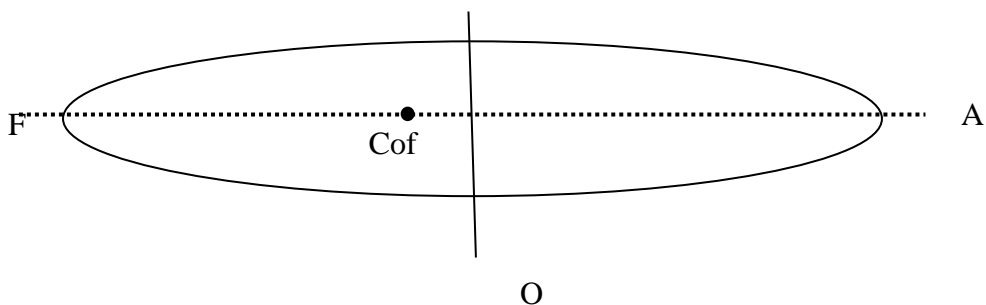
Daya apung = volume cairan yang dipindahkan

$$= \frac{\text{Berat}}{\text{Berat Jenis}} = \frac{0,14}{1,024} = 0,13 \text{ m}^3$$

$$\text{Daya apung cadangan} = \pi r^2 \cdot (2 - 0,484) = 0,42 \text{ m}^3$$



Untuk menentukan letak Cof dipergunakan kombinasi perhitungan antara Simpson's rule dan dalil moment, yang menyatakan bahwa moment luas adalah merupakan hasil kali antara luas bidang yang bersangkutan dengan lengan moment yang dihitung dan titik pusat moment sampai dengan suatu bidang tertentu.



$$\text{Momen Luas} = \text{AWP} \times \text{E. Cof}$$

Dimana : Momen luas dalam  $\text{m}^3$

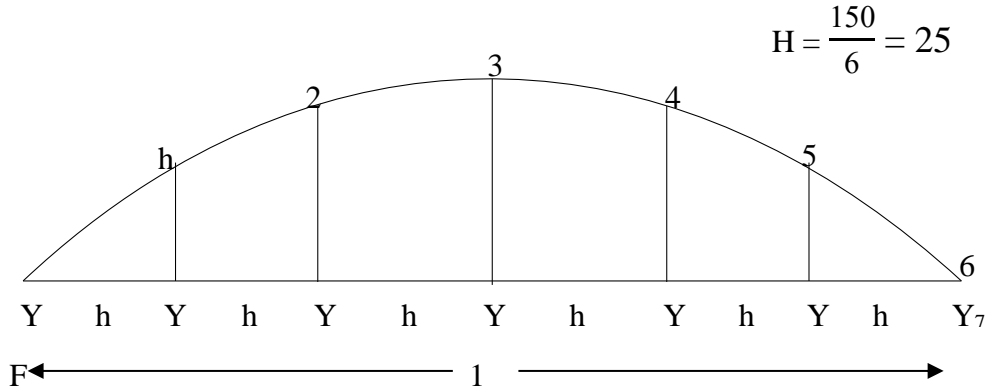
Luas bidang air dalam  $\text{m}^2$

Lengan momen F-Cof dalam m

**Penugasan 10**

Sebuah kapal panjangnya 150 mempunyai semi ordinat mulai dari depan masing-masing : 0.5.9.9.7.0.

Tentukan Ietak Cof dari depan (F)



No.	½ ord	SM	Luas	Lengan dari depan	Momen
1.	0	1	0	0 h	0 h
2.	5	4	20	1 h	20 h
3.	9	2	18	2 h	36 h
4.	9	4	36	3 h	108 h
5.	9	2	18	4 h	72 h
6.	7	4	28	5 h	140 h
7.	0	1	0	6 h	0 h
			120		376 h

$$\text{AWP} = 2 \times 1/3 \text{ h} (120)$$

$$\begin{aligned} \text{Momen AWP dari depan} &= \frac{\text{Momen AWP}}{\text{AWP}} \\ &= \frac{2 \times 1/3 \text{ h} \times 376 \text{ h}}{2 \times 1/3 \text{ h} \times 120} \\ &= \frac{376 \times 25}{120} \\ &= 78,33 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, Cof terletak 78,33 m dari depan.

Perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan midship sebagai dasar.

#### **1.4 DAFTAR PUSTAKA**

Hugo Nano Ansanay , 2015 Dasar-Dasar Stabilitas Kapal , Jakarta

SCTW 1995 Amandemen Manila 2010

Soegiyanto, 2008 Stabilitas Kapal, PIP Semarang

Supriyono Hadi, 2013 Stabilitas Kapal, PIP Semarang

Wakidjo , 1972 Stabilitas Kapal, Jakarta

## BAB 2

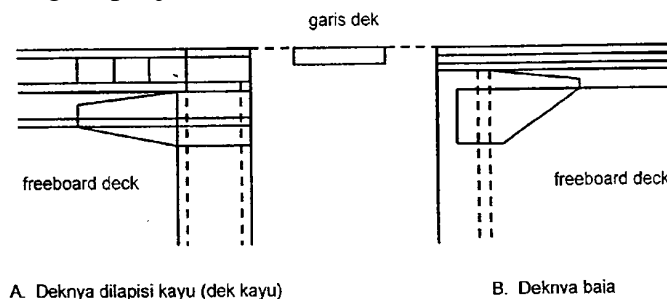
### MERKAH KAMBANGAN

#### 2.1 KOMPETENSI DASAR

Bab ini diharapkan taruna mengetahui yang dimaksud merkah kambangan dan mampu untuk menghitung draft kapal.

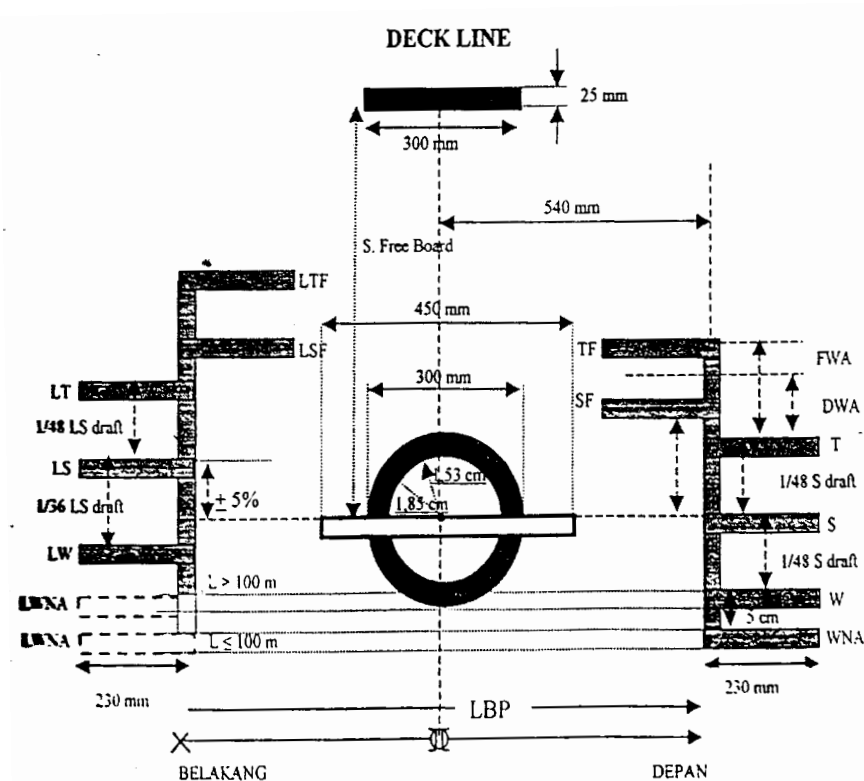
#### 2.2 URAIAN MATERI

Merkah kambangan adalah sebuah tanda yang dibuat dari plat besi sedemikian rupa, dipasang di tengah-tengah panjang kapal pada lambung kiri dan kanan, yang gunanya untuk mengetahui draft maksimum yang diijinkan di berbagai daerah musim dan di berbagai daerah perairan, sehingga nahkoda dapat membatasi jumlah beban yang boleh diangkut kapal dengan aman. Merkah kambangan juga disebut **Garis Muatan atau Load Line atau Plimsoll Mark**. Sebelum dipasang plimsoll mark (Merkah Kambangan) maka harus ditentukan lebih dahulu letak dari garis-deknya (deck line) pada lambung-kapal. Garis-dek ini merupakan garis datar dimana sisi atasnya berimpit dengan sisi atas dari geladak lambung-bebas (freeboard-deck), dan letaknya ditengah-tengah panjang kapal (LBP) dengan ukuran panjang 300 mm dan lebarnya 25 mm. Deck-line harus dicat kontras dengan lambungnya. Lingkaran garis air dari Plimsoll mark dilukis dibawah garis dek. Jarak antara bagian alas deck-line dan titik pusat lingkaran dinamakan Summer Freeboard. 540 mm didepan pusat lingkaran dilukiskan load-line, yang menandai batasan sarat bagi kapal jika berada di laut atau zona tertentu.



**Gambar 2.1 Merkah Kambangan**

Selanjutnya perhatikan gambar tersebut di bawah ini adalah merkah kambangan atau kapal yang memiliki sertifikat kapal barang dan kapal yang memiliki sertifikat kapal pengangkut kayu, dipasang pada lambung kanan. Merkah kambangan untuk kapal barang, load linenya (kaki-kakinya) menghadap ke haluan, dan merkah kambangan untuk kapal kayu load linenya (kaki-kakinya) menghadap keburitan. Jika kapal hanya memiliki sertifikat barang, maka load line untuk kapal kayu tidak dipasang demikian juga jika kapal hanya memiliki sertifikat kapal kayu, maka load line untuk kapal barang tidak dipasang. Merkah kambangan dibuat dari plat besi dan dipasang (dilas) dilambung kapal kiri dan kanan secara simetris dan letaknya tepat pada mid ship (tengah-tengah panjang kapal / LBP).



**Gambar 2.2 Merkah Kambangan Kapal Barang & Kapal Pengangkut Kayu Pada Lambung Kanan**

## Penggunaan

1. **S : Summer Load Line**, adalah garis batas tenggelam kapal pada waktu berada di laut di daerah musim panas permanen atau daerah musim panas pada waktu musim panas. Sisi atas garis "S" letaknya segaris dengan pusat lingkaran garis air.
2. **T : Tropic Load Line**, adalah garis batas tenggelam kapal pada waktu berada di laut di daerah musim tropis permanen atau di daerah musim tropis pada waktu musim tropis.
3. **W: Winter Load Line**, adalah garis batas tenggelam kapal pada waktu berada di laut di daerah musim dingin periodik atau di daerah musim dingin pada waktu musim dingin.
4. **SF : Summer Fresh Water Load Line**, adalah garis batas tenggelam kapal pada waktu di air tawar, di daerah musim panas permanen atau di daerah musim panas pada waktu musim panas, dan draftnya akan kembali ke garis jika kapal berada dilaut.
5. **TF : Tropic Fresh Water Load Line**, adalah garis batas tenggelam kapal pada waktu berada di air tawar, di daerah musim tropis permanen, atau di daerah musim tropis pada musim tropis, dan draftnya akan kembali ke garis "T" secara otomatis, jika kapal berada dilaut.
6. **WNA : Winter North Atlantic Load Line**, adalah garis batas tenggelam kapal pada waktu berada di laut atlantic utara (daerah lintang  $35^{\circ}$  s.d.  $90^{\circ}$  utara) di daerah musim dingin periodik atau di daerah musim dingin pada musim dingin.
7. **LS (Lumber Summer), LT (Lumber Tropic), LW (Lumber Winter), LSF (Lumber Summer Fresh Water), LTF (Lumber Tropic Fresh Water), LWNA (Lumber Winter North Atlantic)** adalah load line khusus untuk kapal yang memiliki sertifikat kapal pengangkut kayu dan merupakan garis batas tenggelam maksimum yang diijinkan bagi kapal kayu yang berada di masing-masing daerah. Semua draft diukur dari lunas sampai dengan sisi atas load line.

### **Jarak antara Load Line untuk Kapal Barang**

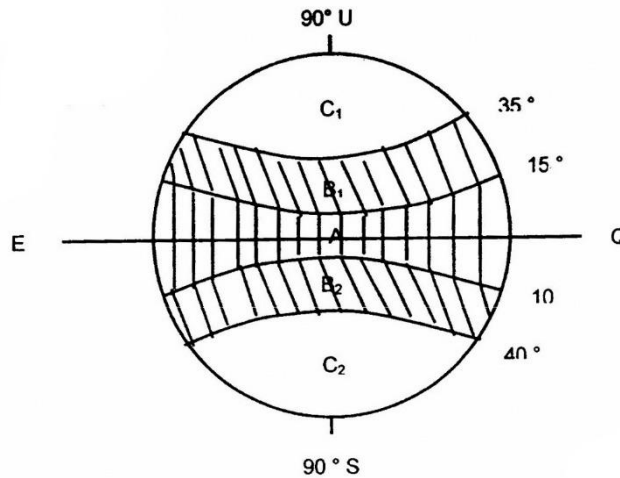
1. Jarak antara sisi atas S sampai dengan sisi atas T sama dengan jarak antara sisi atas S sampai dengan sisi atas W =  $\frac{1}{48}$  Summer draft dengan satuan ukuran sesuai dengan satuan ukuran yang digunakan oleh Summer draft.
2. Jarak antara sisi atas S sampai dengan sisi atas SF sama dengan jarak antara sisi atas T sampai dengan sisi atas TF = FWA (Fres Water Allowance).
3. Jarak antara sisi atas S sampai dengan di bawah sisi SF sama dengan jarak antara sisi atas T sampai dengan di bawah sisi atas TF = DWA (Dock Water Allowance).
4. Jarak antara sisi atas W sampai dengan sisi atas WNA = 5 cm fix. Khusus untuk kapal tanker jarak antara sisi atas W sampai dengan sisi atas WNA = 2,5 cm setiap panjang kapal 30 m.

### **Jarak antara Load Line untuk Kapal Kayu**

1. Jarak antara sisi atas LS sampai dengan sisi atas LT =  $\frac{1}{48}$  LS draft dengan satuan ukuran sesuai dengan satuan ukuran yang digunakan oleh Lumber Summer Draft.
2. Jarak antara sisi atas LS sampai dengan sisi atas LW =  $\frac{1}{36}$  LS draft.
3. Jarak antara sisi atas LS sampai dengan sisi atas LSF sama dengan jarak sisi atas LT sampai dengan di bawah sisi atas LTF = DWA untuk kapal kayu. Rumus FWA dan DWA untuk kapal kayu sama dengan rumus FWA dan DWA untuk kapal barang.
4. Jarak antara sisi atas LS sampai dengan di bawah sisi atas LSF sama dengan jarak sisi atas LT sampai dengan di bawah sisi atas LTF = DWA untuk kapal kayu. Rumus FWA dan DWA untuk kapal kayu sama dengan rumus FWA dan DWA untuk kapal barang.
5. Jarak antara sisi atas LW sampai dengan sisi atas LNWA, disesuaikan dengan panjang kapal dan dimana kapal tersebut berada.

## Pembagian Daerah Musim

- C1 = Daerah Periodic Winter U
- B1 = Daerah Permanent Summer U
- A = Daerah Permanent Tropic
- B2 = Daerah Permanent Summer S
- C2 = Daerah Periodic Winter S (South Atiatic)



**Gambar 2.3 Pembagian Daerah Musim**

Keterangan :

1. Di daerah C1 : Winter mulai tanggal 16 Oktober s.d. 15 April Summer mulai tanggal 16 April s.d. 15 Oktober
2. Di daerah C2 : Winter mulai tanggal 16 April s.d. 15 Oktober Summer mulai tanggal 16 Oktober s.d. 15 April

## Kapal-kapal yang Berlayar di Daerah Winter North Atlantic

Ketentuan Solas 1974

1. Untuk kapal-kapal cargo (bukan kapal kayu) yang berlayar di daerah North Atlantic (NA) pada musim Winter:
  - a. Jika panjang kapal  $\leq 100$  m harus menggunakan WNA draft (fix 5cm).
  - b. Jika panjang kapal  $> 100$  m boleh memakai WNA draft boleh tidak (yang baik memakai W draft).

- c. Khusus kapal tanker, tidak peduli panjang kapal, harus menggunakan WNA draft, dimana jarak antara W ditetapkan 2,5 cm setiap panjang kapal 30 m.

### Latihan Soal

$$\begin{aligned} L = 30 \text{ m, W ke WNA} &= 2,5 \text{ cm} \\ L = 40 \text{ m, W ke WNA} &= 40/30 \times 2,5 \text{ cm} = 2,5 \text{ cm} \\ L = 50 \text{ m, W ke WNA} &= 40/30 \times 2,5 \text{ cm} = 2,5 \text{ cm} \\ L = 60 \text{ m, W ke WNA} &= 40/30 \times 2,5 \text{ cm} = 2,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

### Catatan :

- a. Di daerah NA, musim Winter mulai tanggal 16 Oktober s.d. April dan musim panas mulai tanggal 16 April s.d. 15 Oktober sepanjang tahun.
  - b. Apabila kita berlayar di daerah NA, tetapi saai itu tepat musim panas maka yang dipakai adalah S draft, dan ketentuan-ketentuan tersebut di atas tidak berlaku.
2. Khusus kapal kayu (kapal yang memiliki sertifikat muat untuk kayu) yang berlayar di daerah North Atlantic (NA) pada musim Winter.
- a. Jika panjang kapal  $\geq 100$  m, harus menggunakan LWNA draft yang letaknya segaris dengan WNA kapal cargo.
  - b. Jika panjang kapal  $> 100$  m, harus menggunakan LWNA draft tetapi letaknya segaris dengan W kapal cargo.
  - c. Tinggi maksimum muatan deck =  $1/3$  lebar kapal
  - d. Tinggi minimum muatan deck diatur sebagai berikut :
    - 1) Jika panjang kapal  $\leq 76$  m, tinggi minimum = 1,8 m.
    - 2) Jika panjang kapal  $\geq 122$  m, tinggi minimum = 2,28 m
    - 3) Jika panjang kapal di antaranya, tinggi minimum diinterpolasi.
  - e. Di musim-musim yang lain tinggi maksimum tidak dibatasi, asalkan :
    - 1) Tidak mengganggu pemandangan.
    - 2) Tidak membahayakan stabilitas kapal.

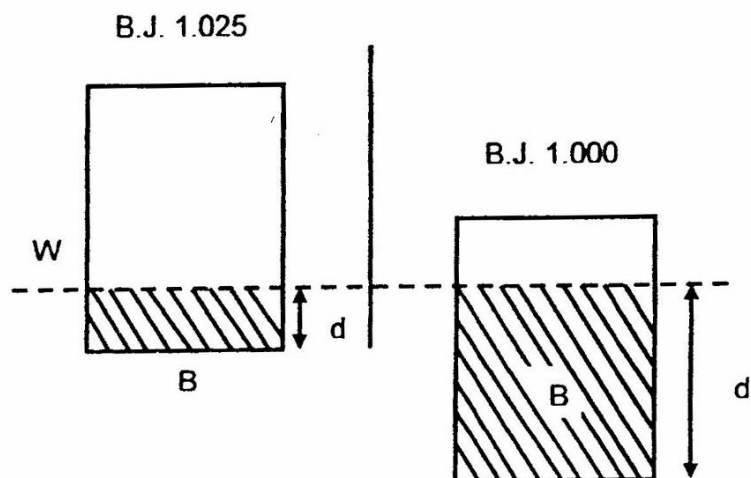
### Catatan :

1. Jika berlayar tidak melewati NA atau melewati NA tetapi tidak pada musim dingin, maka ketentuan tersebut ( no 1 s.d. 4 ) batal, dan kapal harus menggunakan LW, LS, LT, LSF, atau LTF sesuai dengan musim dan jenis perairannya.
2. Jarak LS ke LW =  $\frac{1}{36} \times LS$  draft dan Ls ke LF =  $\frac{1}{48} \times LS$  draft.
3. Keuntungan memuat kayu di atas deck :
  - 1) Daya apung cadangan bertambah besar.
  - 2) Draft bisa diperbesar, sehingga free board boleh diperkecil.
4. Persyaratan stabilitas :
  - 1) Maksimum GZ tidak boleh kurang dari 0,25 m.
  - 2) GM awal tidak boleh kurang dari 0,10 m.
  - 3) Luas di bawah GZ kurva minimal 0,08 m rad pada  $\Phi$  minimal  $40^\circ$ .
  - 4) Kapal cargo boleh memuat kayu termasuk muatan deck asal muatan decknya maksimum 5 % dari C DWT-nya.

### Pengaruh Berat Jenis Cairan terhadap Draft

#### 1. Kapal berbentuk kotak

- a. Jika displacement tetap



Gambar 2.4 Displacement Tetap

$$\begin{aligned} \text{Displacement lama} &= \text{Displacement baru} \\ \text{Volume lama} \times \text{B.J lama} &= \text{Volume baru} \times \text{B.J baru} \\ L \times B \times d \text{ lama} \times \text{B.J lama} &= L \times B \times d \text{ baru} \times \text{B.J baru} \end{aligned}$$

$\text{Draft lama} \times \text{B.J lama} = \text{Draft baru} \times \text{B.J baru}$	..... 2.1
---	-----------

Jadi, draft akan berubah.

- L = Panjang kapal dalam meter
- B = Lebar kapal dalam meter
- D = Draft kapal dalam meter
- B.J = Berat jenis cairan dalam tonnes/m<sup>3</sup>

b. Jika draft tetap (volume benaman tetap)

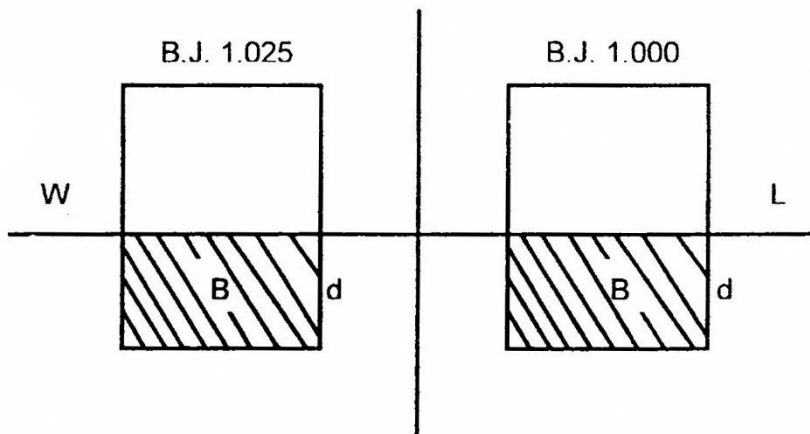
Apabila draft tetap, maka volume benaman juga tetap akan tetapi berat benaman akan berubah.

$$\text{Volume benaman lama} = \text{volume benaman baru}$$

$\frac{\text{Displacement lama}}{\text{B.J lama}} = \frac{\text{Displacement baru}}{\text{B.J baru}}$	..... 2.2
---	-----------

Jadi, displacement akan berubah.

Kedua rumus tersebut berlaku apabila kapal berbentuk kotak, untuk kapal yang bukan berbentuk kotak akan dibahas dalam bab ini.



**Gambar 2.5 Displacement Berubah**

**2. Kapal berbentuk umum**

a. **FWA (Fresh Water Allowance)** adalah perbedaan draft rata-rata jika kapal mengapung di air tawar dengan kapal mengapung di air laut.

$$\boxed{\text{FWA} = \frac{\text{Summer Displacement}}{40 \text{ TPC}} \text{ cm}} \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana : FWA perubahan draft dalam centimeter

Semua displacement = dalam tones

TPC = TPC rata-rata dalam tones.

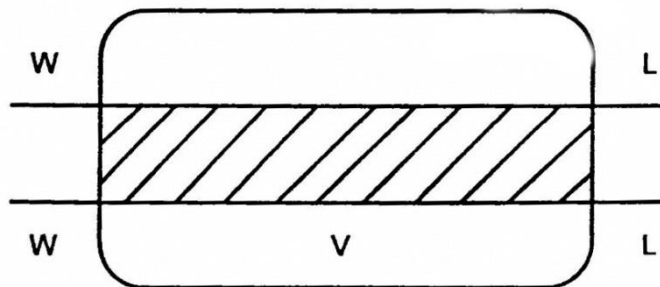
b. **DWA (Dock Water Allowance)** ada perbedaan draft rata-rata jika kapal mengapung di air payau dengan kapal mengapung di air laut.

$$\boxed{\text{DWA} = \text{FWA} \times \frac{\text{Density air laut} - \text{density air payau}}{\text{Density air laut} - \text{density air tawar}} \text{ cm}} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana: DWA = dalam (cm)

FWA = dalam (cm)

Rumus tersebut dapat dibuktikan sebagai berikut:



Anggap kapal seperti gambar terapung pada sarat musim summer (summer draft) di air laut pada garis air WL. Dan V sama dengan volume air laut yang dipindahkan pada sarat tersebut.

Sekarang WL merupakan garis air kapal di air tawar, maka jumlah volume air tawar yang dipindahkan ialah  $V + v$ .

$$\text{Berat} = \text{Volume} \times \text{B.J}$$

$$\text{Berat air laut yang dipindahkan} = 1,025 V$$

$$\text{Berat air tawar yang dipindahkan} = 1.000 (V+v)$$

$$\text{Berat air tawar yang dipindahkan} = \text{Berat air laut yang dipindahkan}$$

$$\text{Jadi, } 1.000 (V+v) = 1,025 V$$

$$v = \frac{V}{40}$$

$$v \times \text{B.J air tawar} = \frac{V}{40} \times \text{B.J air laut}$$

$$w = \frac{W}{40}$$

Misalkan untuk merubah draft sebesar FWA cm diperlukan bobot ton.

$$\text{Maka } w = \text{FWA} \times \text{TPC}$$

Selanjutnya

$$\text{FWA} \times \text{TPC} = \frac{w}{40}$$

$$\text{FWA} = \frac{W}{40 \text{ TPC}} \text{ (terbukti)}$$

**Keterangan:**

FWA = dalam ton

W = Summer displacement (ton)

TPC = ton/cm dimana

$\text{TPC} = \frac{1,025 \text{ AWP}}{100} \text{ (di air laut)}$	..... 2.5
--	-----------

$\text{TPC} = \frac{\text{AWP}}{100} \text{ (di air tawar)}$	..... 2.6
--	-----------

$$\boxed{AWP = C_w \times L \times B} \dots\dots\dots 2.7$$

### 2.3 PENUGASAN

#### Penugasan 1 :

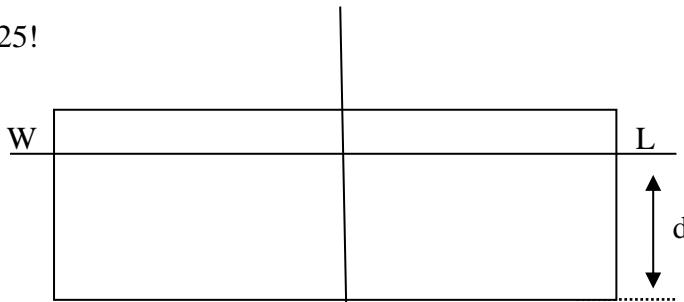
Kapal bentuk segi panjang terapung dengan sarat rata-rata 4,2 meter di pelabuhan yang B.J airnya 1.020. Hitunglah sarat rata-rata bila terapung di laut dengan B.J 1,025!

$$\text{Draft lama} \times \text{B.J lama} = \text{Draft baru} \times \text{B.J baru}$$

$$\begin{aligned} \text{Draft baru} &= \frac{\text{B.J}}{\text{B.J baru}} \times \text{draft lama} \\ &= \frac{1.020}{1,025} \times 4,2 \text{ m} \\ &= 4,18 \text{ m} \end{aligned}$$

#### Penugasan 2 :

Sebuah kapal bentuk segi panjang terapung tegak dengan draft muka belakang sama (even keel) di air tawar dengan B.J. 1.000 m dan pusat titik apung 50 cm di atas lunas. Hitunglah tinggi titik apung bila kapal itu terapung di air laut dengan B.J 1,025!



$$\text{Draft lama} = 2 \times \text{KB} = 2 \times \frac{1}{2} = 1 \text{ m}$$

$$\frac{\text{Draft baru}}{\text{Draft lama}} = \frac{\text{B.J lama}}{\text{B.J baru}}$$

$$\begin{aligned}
\text{Draft baru} &= \text{Draft lama} \times \frac{\text{B.J lama}}{\text{B.J baru}} \\
&= 1 \times \frac{1.000}{1025} \\
&= 0,975 \text{ m} \\
\text{KB baru} &= 0,5 \text{ draft baru} = 0,488 \text{ m}
\end{aligned}$$

## 2.4 DAFTAR PUSTAKA

- Hugo Nano Ansanay , 2015 Dasar-Dasar Stabilitas Kapal , Jakarta  
SCTW 1995 Amandemen Manila 2010  
Soegiyanto, 2008 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
Supriyono Hadi, 2013 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
Wakidjo , 1972 Stabilitas Kapal, Jakarta

## **BAB 3**

### **STABILITAS AWAL**

#### **3.1 KOMPETENSI DASAR**

Pada bab 3 ini para taruna diharapkan untuk mampu mengetahui tentang stabilitas awal dan jenis – jenis stabilitas awal.

#### **3.2 URAIAN MATERI**

##### **Pengertian**

1. **Stabilitas** adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang kemampuan sebuah kapal untuk kembali ke kedudukan semula setelah disengetkan oleh gaya-gaya dari luar.
2. **Stabilitas awal (Initial Stability)** adalah stabilitas dengan sudut senget kecil, sedangkan yang dimaksud dengan sudut senget kecil adalah sudut senget antara  $0^\circ$  sampai dengan  $15^\circ$ .
3. **Titik Berat Kapal (Center of Gravity)** adalah titik tangkap dari seluruh gaya yang bekerja vertikal ke bawah.
4. **Titik apung (Center of Buoyancy)** adalah titik tangkap dari seluruh gaya yang bekerja vertikal ke atas.
5. **Titik metasentris (Metacentre)** adalah titik potong antara garis tegak yang melewati titik B dengan bidang center line.
6. **GM (Metacentric Height)** adalah jarak tegak antara titik G dengan titik M diukur pada bidang center line.
7. **Bidang Center Line** adalah bidang tegak yang membagi lebar kapal menjadi dua sama besar.
8. **KM (Initial Metacentric Above Keel)** adalah jarak tegak antara lunas dengan titik M diukur pada bidang center line.

## **Jenis-Jenis Stabilitas Awal**

1. **Stabilitas Positif (+)** adalah stabilitas kapal dimana titik G berada di bawah titik **M (Stable Equilibrium)**.  
Penyebabnya : penempatan muatan di bagian bawah > jika dibandingkan dengan penempatan muatan dibagian atas.
2. **Stabilitas Netral** adalah stabilitas kapal dimana titik G berimpit dengan titik **M (Neutral Equilibrium)**.  
Penyebabnya : penempatan muatan di bagian bawah = penempatan muatan di bagian atas.
3. **Stabilitas Negatif (-)** adalah stabilitas kapal dimana titik G berada di atas titik **M (Unstable Equilibrium)**.  
Penyebabnya : penempatan muatan di bagian bawah < jika dibandingkan dengan penempatan muatan di bagian atas (Top Heavy).

Ditinjau besar kecilnya nilai GM, stabilitas positif dibedakan menjadi tiga yaitu:

1. **Stabilitas Longcar** adalah stabilitas positif dimana nilai GM-nya terlalu kecil.
  - a. Penyebabnya  
Perbedaan penempatan muatan di palka atas dan palka bawah relatif sangat kecil.
  - b. Tanda-tandanya  
Sudut olengan kapal relatif besar dengan demikian periode olengan juga relatif besar meskipun kapal berlayar di laut yang tenang.
  - c. Akibatnya  
Karena penggunaan bahan bakar dari air tawar selama pelayaran stabilitas kapal bisa menjadi netral bahkan menjadi negatif sehingga sangat berbahaya jika mendapatkan ombak / angin yang besar.
  - d. Penanggulangan
    - 1) Jika kapal sandar di pelabuhan  
Pindahkan muatan-muatan berat dari atas ke bawah secukupnya, dan jika mungkin isi ballast.

2) Jika kapal ditengah laut

Jika mungkin isi ballast dan gunakan bahan bakar atau air tawar dari tangki-tangki atas serta bemavigasi dengan hati-hati.

2. **Stabilitas Kaku** adalah stabilitas positif dimana GM-nya terialu besar.

a. Penyebabnya

Perbedaan penempatan muatan di palka atas dan palka bawah relatif sangat besar.

b. Tanda-tandanya

Sudut olengan kapal relatif kecil dan menyentak-nyentak dengan demikian periode olengan juga relatif kecil meskipun kapal berlayar di laut yang tenang.

c. Akibatnya

Karena gerakan yang menyentak-nyentak tersebut dapat mengendorkan bahkan memutuskan lashingan muatan. Sehingga berbahaya terhadap muatan yang akhimya berbahaya terhadap kapal maupun awak kapal.

d. Penanggulangan

Jika kapal sandar di pelabuhan pindahkan muatan berat dari bawah ke atas secukupnya. jika mungkin buang ballast dan perkuat lashingan. Jika kapal di tengah laut, perkuat lashingan dan jika mungkin gunakan bahan bakar dan air tawar dari tangki-tangki bawah serta bemavigasi dengan hati-hati.

3. **Stabilitas Edial** adalah stabilitas positif dimana nilai GM-nya edial atau sangat baik Besar kecilnya nilai GM edial ini telah dihitung oleh pihak pembuat kapal melalui Biro Klasifikasi dan nilainya dicatat pada Blue Print.

Sebagai acuan, GM edial yang baik untuk :

Kapal penumpang : 2% x lebar

Kapal barang yang kecil : 4% x lebar

Kapal barang yang besar : 8% x lebar

### Pergerakan Titik Metasentris Kapal (M)

Titik M akan berpindah dari posisi semula apabila :

1. Kapal mengalami perubahan draft.
2. Kapal miring dari berbagai sudut miring.

Namun demikian pada saat kapal miring dengan sudut miring kecil ( $\Phi < 15^\circ$ ) kedudukan titik M ini dianggap tetap pada posisi semula.

### Pergerakan Titik Apung Kapal (B)

Titik B akan berpindah dari posisi semula apabila :

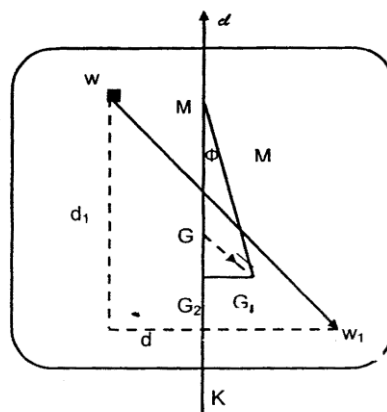
1. Kapal mengalami perubahan draft.
2. Kapal miring dari berbagai sudut miring.

Pada stabilitas bentuk, titik B ini sangat berperan sedangkan pada stabilitas berat, titik G sangat berperan. Jadi dalam stabilitas, titik B dan titik G ini merupakan titik-titik yang sangat penting.

### Pergerakan Titik Berat Kapal (G)

Titik G akan berpindah dari posisi semula apabila:

1. Terjadi pergeseran bobot (**Shifting Cargo**)
2. Terjadi penambahan bobot (**Loading Cargo**)
3. Terjadi pengurangan bobot (**Discharging Cargo**)



Gambar 3.1 Pergerakan Titik Berat Kapal

Perubahan titik “G” karena pergeseran bobot. Semula kapal tegak kemudian bobot di w digeser ke w<sub>1</sub> akibatnya:

- Titik G bergeser ke G<sub>1</sub>.
- GG<sub>1</sub> sejajar ww<sub>1</sub>, sehingga kapal miring kanan
- G<sub>2</sub>M = GM akhir
- Φ = sudut miring

Perumusan :

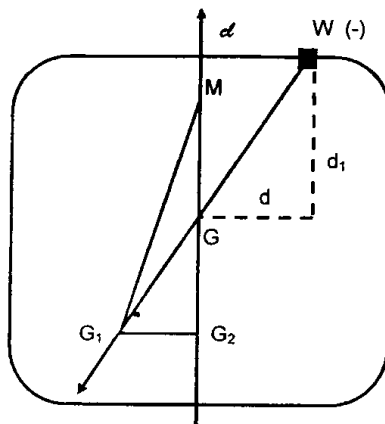
$$GG_2 = \frac{w \times d_1}{\Delta} \dots\dots\dots 3.1$$

$$G_1G_2 = \frac{w \times d}{\Delta} \dots\dots\dots 3.2$$

$$\text{tg } \Phi = \frac{G_1G_2}{G_2M} \dots\dots\dots 3.3$$

**Perubahan titik G karena pengurangan bobot**

Semula kapal tegak kemudian w dibongkar dari dalam palka. Maka titik G akan bergerak berlawanan arah dengan arah beban yang dibongkar dihitung dari titik G semula. Perumusan sebagai berikut :



**Gambar 3.2 Perubahan titik G karena Pengurangan Bobot**

$$GG_2 = \frac{w \times d_1}{\Delta - w} \dots\dots\dots 3.7$$

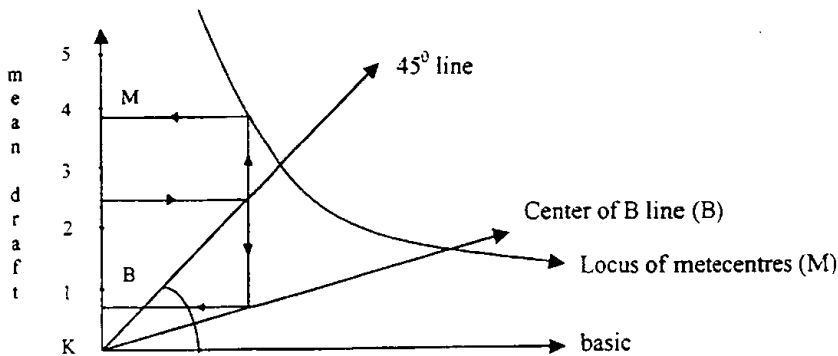
$$G_1 G_2 = \frac{w \times d}{\Delta - w} \dots\dots\dots 3.8$$

$$\text{tg } \Phi = \frac{G_1 G_2}{G_2 M} \dots\dots\dots 3.9$$

Dalam hal kita melakukan berbagai kegiatan, rumus-rumus tersebut kurang efektif digunakan, sehingga untuk menyelesaikan kasus tersebut lebih tepat menggunakan dalil momen.

**Menghitung KB, BM, dan KM**

1. Dengan diagram Metasentris



**Gambar 3.3 Diagram Metasentris**

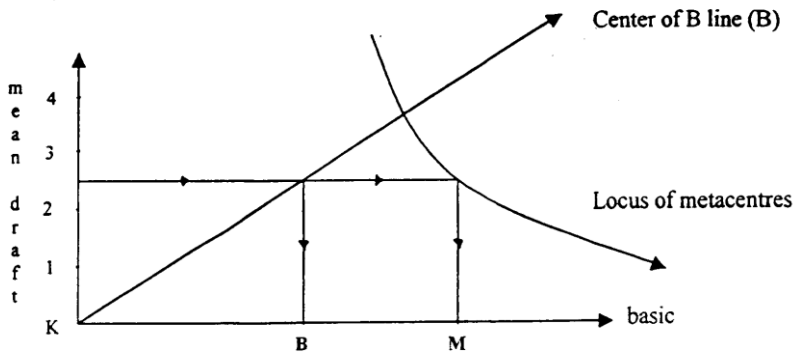
**Cara melukis :**

- a. Tentukan sumbu salip basic dan draft
- b. Tentukan 45 ° line (membentuk sudut 45 ° dengan basic)
- c. Tentukan center of B line (letaknya diantara 45 ° cure dengan basic)
- d. Tentukan locus of metacentres (letaknya bebas)

**Cara menghitung :**

- a. Dengan argumen draft rata-rata misalnya 2,45 m
- b. Selanjutnya ikuti anak panah
- c. Jadi:  $KM = KB + BM$

2. Dengan lengkungan hidrostatik



**Gambar 3.4** Lengkungan Hidrostatik

**Cara melukis :**

- a. Tentukan sumbu salip basic dan draft
- b. Tentukan center of B line (letaknya bebas)
- c. Tentukan locus of metacentres (letaknya bebas)

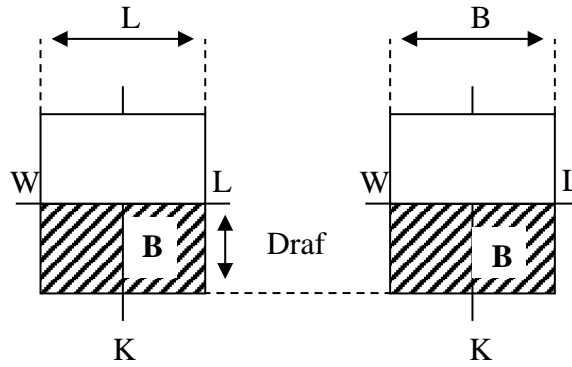
**Cara menghitung:**

- a. Dengan argument draft rata-rata, misalnya 2,45
- b. Ikuti anak panah
- c. Jadi:  $KM = KB + BM$

Diagram Metasentris maupun lengkungan Hidrostatik di setiap kapal sudah ada, jadi kita tinggal menggunakannya. Namun kita juga bisa membuat sendiri asalkan data-datanya lengkap.

Berdasarkan bentuk badan kapal:

1. Kapal berbentuk kotak



Gambar 3.5 Kapal Berbentuk Kotak

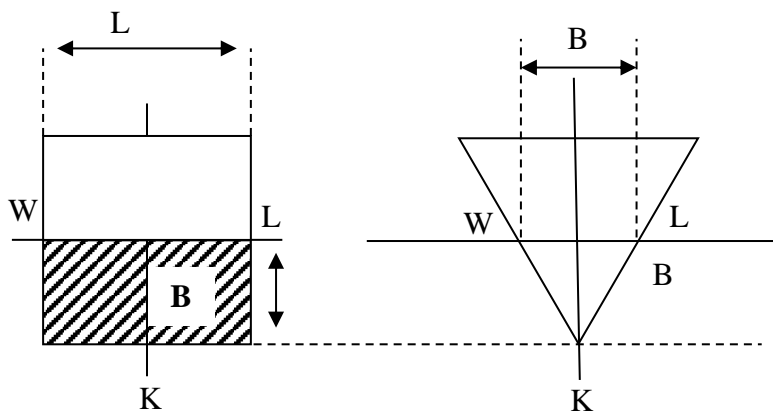
$$KB = \frac{1}{2} d \quad \dots\dots\dots 3.10$$

$$BM = \frac{1}{V} \rightarrow I = \frac{1 b^3}{12 V}$$

$$= \frac{L \cdot B^3}{12 \times V}$$

$$BM = \frac{b^2}{12 d} \quad \dots\dots\dots 3.11$$

2. Kapal berbentuk segitiga prisma



Gambar 3.6 Kapal berbentuk Segitiga Prisma

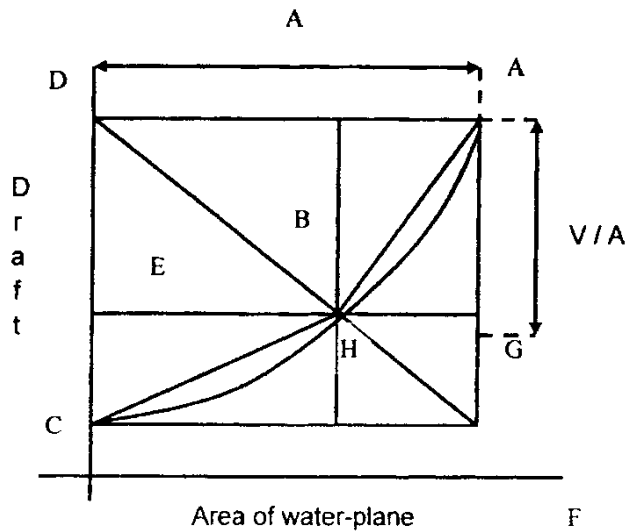
$$\boxed{KB = \frac{2}{3} d} \dots\dots\dots 3.12$$

$$BM = \frac{I}{V}$$

$$= \frac{I b^3}{12 V}$$

$$\boxed{BM = \frac{B^2}{6 D}} \dots\dots\dots 3.13$$

3. Kapal berbentuk biasa/umum



Gambar 3.7 Kapal Berbentuk Biasa / Umum

Titik B berada  $\frac{1}{3} \left( \frac{d}{2} + \frac{V}{A} \right)$  dari WL

Atau

$$\boxed{KB = \frac{1}{3} \left( \frac{5d}{2} - \frac{V}{A} \right)} \dots\dots\dots 3.14$$

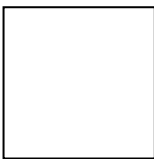
$$BM = \frac{I}{V}$$

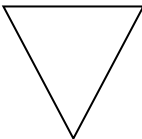
dimana  $I = K \cdot L \cdot B^3$  sehingga

$$BM = \frac{K \cdot B^2}{d \cdot C_b} \dots\dots\dots 3.15$$

$$BM = \frac{K \cdot L \cdot B^3}{L \cdot B \cdot d \cdot I}$$

**Tabel Perhitungan Nilai KB**

Bentuk	KB	I	$BM = \frac{I}{V}$	Keterangan
	$\frac{1}{2} d$	$\frac{L B^3}{12}$	$\frac{B^2}{12 d}$	B = Lebar (m) D = Draft (m) L = LBP (m) V = Vol benaman K = Tetapan yang nilainya tergantung CP

Bentuk	KB	I	$BM = \frac{I}{V}$	Keterangan										
	$\frac{2}{3} d$	$\frac{L B^3}{12}$	$\frac{B^2}{6 d}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CP</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,70</td> <td>0,042</td> </tr> <tr> <td>0,75</td> <td>0,048</td> </tr> <tr> <td>0,80</td> <td>0,055</td> </tr> <tr> <td>0,85</td> <td>0,062</td> </tr> </tbody> </table>	CP	K	0,70	0,042	0,75	0,048	0,80	0,055	0,85	0,062
CP	K													
0,70	0,042													
0,75	0,048													
0,80	0,055													
0,85	0,062													
Umum														
A.	$\frac{2}{3} d$	$K \cdot L \cdot B^3$	$\frac{K \cdot L \cdot B^3}{V}$											
B.	$\frac{1}{3} \left( \frac{5d}{2} - \frac{V}{A} \right)$	$K \cdot L \cdot B^3$	$\frac{K \cdot L \cdot B^3}{V}$											



- a. Bobot yang beratnya sudah diketahui W G ton harus sudah di posisi dan saat itu kapal harus betul-betul tegak.
- b. Geserkan bobot sejauh d meter sehingga kapal miring dan tunggu beberapa saat.
- c. Baca pada papan ukur beberapa meter tali unting-unting menyimpang (misal AB meter).
- d. Ukur tali unting-unting secara tegak (misal AB meter).
- e. Kemudian dianalisis sebagai berikut:

Lihat  $\Delta MGG_1$  dan ABC

$$\cotg \Phi = \frac{GM}{GG_1} \text{ dan } \cotg \Phi = \frac{GM}{GG_1}$$

$$\text{Jadi } \frac{GM}{GG_1} = \frac{AB}{BC} \text{ atau } GM = GG_1 \times \frac{AB}{BC}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{disp} \text{ sehingga } \boxed{GM = \frac{w \times d}{disp} \times \frac{AB}{BC}} \dots\dots\dots 3.16$$

Apabila KM saat itu diketahui maka :

$$\boxed{KG \text{ kapal kosong} = KM - GM} \dots\dots\dots 3.17$$

**Periode Olangan**

1. Macam-macam olangan kapal

- a. Natural rolling adalah olangan kapal dilaut yang tenang. Pada kondisi ini kita bisa menganalisa jenis stabilitas kapal yaitu longsor atau kaku-kaku dan kita juga dapat mencari periode olangan kapal (T) dengan rumus :

$$T = \frac{0,44 \times B}{\sqrt{GM}}$$

B = lebar kapal (feet)

GM = GM awal (feet)

T = Periode olangan (detik)

Untuk catatan metrik dirumuskan sebagai berikut:

$$I = MK^2 \dots\dots\dots 3.18$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\text{coeff of } \Phi}} \dots\dots\dots 3.19$$

$$= \frac{2\pi K}{\sqrt{g \cdot GM}} \dots\dots\dots 3.20$$

Dimana:

I = second Mo = Mo Inertia (m<sup>4</sup>)

K = jari-jari putaran keliling porosnya (m)

M = masa kapal

Δ = displacement

g = gravitasi = percepatan karena adanya gaya berat = 9,81 m/d<sup>2</sup>

π = 3,14

GM = GM awal (m)

T = periode olangan/detik

Keterangan :

- 1) Periode olangan sangat tergantung dari amplitude awjati dan putaran, sepanjang pada sudut sangat kecil.
  - 2) Periode olangan berubah-ubah langsung jika K sebagai jari-jari putar.
  - 3) Periode olangan berubah-ubah kebalikan dengan GM.
  - 4) Periode olangan berubah-ubah jika terjadi perubahan bobot (menggeser, memuat, membongkar).
- b. Forced Rolling adalah olangan kapal di laut yang berombak atau bergelombang.
- c. Cynchronous rolling adalah suatu keadaan dimana periode olangan kapal = periode gelombang, yang dapat mengakibatkan kapal terbalik.
- Cara mengatasinya yaitu dengan mengurangi kecepatan kapal dan merubah haluan sedemikian rupa sehingga kapal tidak mendapatkan ombak lambung.

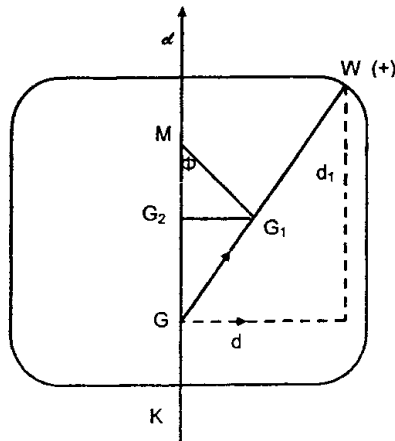
### 3.3 PENUGASAN

#### Penugasan 1 :

Kapal mengapung di air laut dalam posisi tegak  $\Delta = 5.000$  ton,  $KG = 3$  m,  $KM = 5$  m, bobot 500 ton dengan fitik berat 7 m di atas lunas, 2m di kiri bidang center line. Dipindahkan ke posisi 1 m di atas lunas 3m di kanan bidang center line.

Hitung:

- GM akhir.
- Kemiringan kapal.



Perubahan titik “G” karena penambahan bobot. Semula kapal tegak, kemudian bobot w ton dimuat pada posisi seperti gambar:

- Titik G bergerak ke arah muatan, misalkan sampai  $G_1$
- Kapal miring ke kanan
- $G_2M = GM$  akhir
- $\Phi =$  sudut miring

Perumusan :

$$GG_2 = \frac{w \times d_1}{\Delta + w} \dots\dots\dots 3.4$$

$$G_1G_2 = \frac{w \times d}{\Delta + w} \dots\dots\dots 3.5$$

$$\text{tg } \Phi = \frac{G_1G_2}{G_2M} \dots\dots\dots 3.6$$

**Penugasan 2 :**

Kapal dengan displacement 6.000 ton, KG = 2 m, KM = 5 m dalam posisi tegak. Dimuat 1.250 ton pada posisi 8 m di atas lunas 4 m di kanan bidang center line.

Hitunglah:

- "GM" akhir
- Kemiringan kapal

**Penugasan 3 :**

Kapal dengan displacement 5.000 ton dalam posisi tegak. KG = 3 m, KM = 5 dimuat:

- 800 ton dengan KG 2 m dan 3 m dikiri bidang center line.
- 600 ton dengan KG 6 m dan 1 m dikanan bidang center line.

Dibongkar:

- 750 ton dengan KG 3 m dan 2 m di kiri bidang center line.
- 150 ton dengan KG 5 m dan 4 m di kanan bidang center line.

Digeser :

400 ton dari posisi 8 m diatas Lunas, 3 m dikanan bidang center line ke 2 m di atas lunas 4 m di kiri bidang center line.

Hitung :

- GM Akhir
- Kemiringan kapal

Weight	KG	MO. Tegak	d	MO. Miring	
				Kiri	Kanan
5.000	3	15.000	0	0	0
800 +	2	1.600 +	3 i	2.400	
600 +	6	3.600 +	1 a		600

750 -	3	2.250 -	2 i		1.500
150 -	5	750 -	4 a	600	
400 -	8	3.200 -	3 a	1.200	
400 +	2	800 -	4 i	1.600	
5.500	KG1	14.800		5.800	2.100

$$KG_1 = \frac{14.800}{5.500}$$

$$KG_1 = 2,691 \text{ m}$$

$$KM = 5,000 \text{ m}$$

$$GM \text{ akhir} = 2,309 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{tg } \Phi &= \frac{G_1 G_2}{\text{Final GM}} \\ &= \frac{0,67273}{2,309} \\ &= 1.669^\circ \end{aligned}$$

$$\text{Momen kiri} = 5800$$

$$\text{Momen kanan} = 2100$$

$$\text{Final momen kiri} = \frac{(-) 3700}{}$$

$$\begin{aligned} G_1 G_2 &= \frac{3.700}{5.500} \\ &= 0,67273 \\ &= \end{aligned}$$

Kesimpulan :

a. GM akhir = 2,309 m

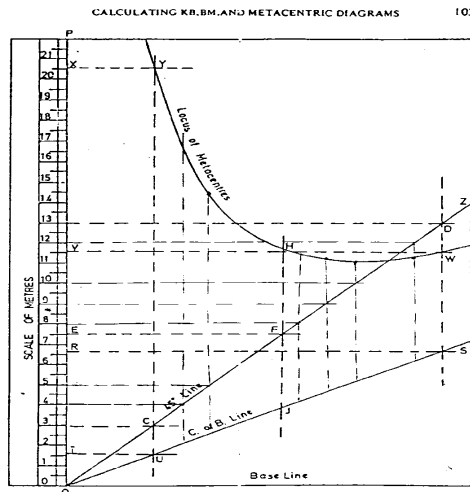
#### Penugasan 4 :

Gambarkan diagram Metasentris jika diketahui data-data sebagai berikut:

Loaded condition	Draft	KB	KM
	13 m	6,65 m	11,60 m
	12 m	6,20 m	11,30 m
	11,54 m	5,7	11,14 m

	10 m	5,20	11,10 m
	9 m	4,60	11,15 m
	8 m	4,10	11,48 m
	7,5 m	3,62	11,94 m
	6,6 m	3,08	12,81 m
	5 m	2,52	14,30 m
	4 m	2,06	15,63 m
Light condition	3 m	1,55	20,54 m

**Jawab:**



**Penugasan 5 :**

1. Sebuah kapal milik displacement 8.000 cm, KM 7 m akan melakukan percobaan stabilitas. Data-data material diketahui bobot 25 ton digeser sejauh 15 m, panjang tali unting-unting 4 m, penyimpangan tali 20 cm. Hitung: KG kapal kosong!

**Jawab :**

$$GM = \frac{w \times d}{\text{disp}} \times \frac{AB}{BC}$$

$$GM = \frac{25 \times 15}{8.000} \times \frac{4}{0,2}$$

$$= 0,94 \text{ m}$$

$$\underline{KM = 7,00 \text{ m}}$$

$$KG = 6,06 \text{ m}$$

2. Sebuah bobot beratnya 10 ton digeser sejauh 12 m melintang kapal sedemikian sehingga tali unting-unting yang panjangnya 10 m menyimpang sejauh 0,25 m. Jika diketahui GM = 0,6 m. Hitung : displacement saat itu !

**Jawab:**

$$GM = \frac{w \times d}{\text{disp}} \times \frac{10}{0,25}$$

$$\begin{aligned} \text{Disp} &= \frac{10 \times 12}{0,6} \times \frac{10}{0,25} \\ &= 8.000 \text{ ton} \end{aligned}$$

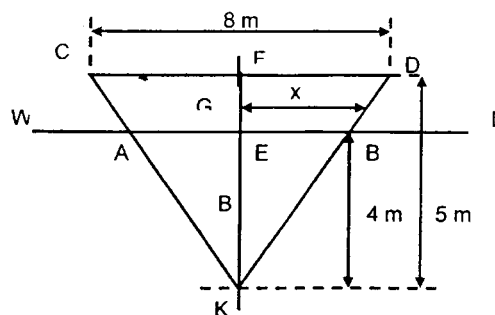
3. Kapal berbentuk kotak panjang 24 m, lebar 5 m dalam 5 m mengampung even keel draft 2 m, KG 1,5. Hitung:initial metacentric height (GM)!

**Jawab :**

KB	=	$\frac{1}{2} \text{ draft}$	=	$\frac{1}{2} \times 2$	=	1,00 m
BM	=	$\frac{B^2}{12 d}$	=	$\frac{5^2}{12 \times 2}$	=	1,04 m
				KM	=	(+ ) 2,04 m
				KG	=	1,50 m
				GM	=	(+ ) 0,54 m

4. Kapal berbentuk segitiga prisma, panjang 32 m , lebar puncak 8 m, dalam 5 m, KG 3,7 m. Mengampung even kapal dengan draft 4 m. Hitung : initial metanemtric height !

**Jawab :**



$$\Delta KAB \sim \Delta KCD$$

Sehingga berlaku rumus :

$$AB : KE = CD : KF$$

$$AB : 4 = 8 : 5$$

$$AB = \frac{32}{5} = 6,4 \text{ m}$$

$$BM = \frac{B^2}{6 \times d} = \frac{(6,4)^2}{6,4} = 1,71$$

$$KB = \frac{2}{3} d = \frac{2}{3} \times 4 = 2,67 \text{ m}$$

$$KM = KB + BM = 2,67 + 1,71 = 4,38 \text{ m}$$

$$GM = 3,70$$

$$GM = +0,68 \text{ m}$$

5. The second moment of a ship water plan area about the center line (momen inertia luas bidang air di sekitar bidang tengah) :  $I = \frac{L B^3}{12} = 20.000 \text{ m}^4$ . Displacement di air payau (B.J 1,008),  $KB = 19 \text{ m}$ ,  $KG = 3,2 \text{ m}$ . Hitung GM awal!

**Jawab:**

$$BM = \frac{I}{V} = \frac{20.000 \times 1,008}{7.000}$$

$$= 2,88 \text{ m}$$

$$KB = 1,90 \text{ m}$$

$$KM = \frac{KB + BM}{2} = (+) 4,78 \text{ m}$$

$$KG = 3,20 \text{ m}$$

$$GM = \frac{KM - KG}{2} = (-) 1,58 \text{ m}$$

**Penugasan 6 :**

- 1) Kapal oleng di air yang tenang dengan radius putar (K) 6 m. GM= 0,5 m. Hitung periode olegannya!

**Jawab :**

$$T = \frac{2 \pi K}{\sqrt{g \cdot GM}} = \frac{2 \times 3,14 \times 6}{\sqrt{9,81 \times 0,5}} = 17,02 \text{ detik}$$

- 2) Kapal memiliki displacement 10.000 ton, GM 0,5 m, periode olegan 20 detik. Carilah periode olegan baru jika bobot 50 ton dibongkar dari posisi 14 m di atas titik G  $\pi^2 = 10$  dan  $g = 9,81 \text{ m/d}^2$ !

**Jawab:**

$$T = \frac{2 \pi K}{\sqrt{g \cdot GM}}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{\text{disp}}$$

$$T = \frac{(2 \pi K)^2}{g \cdot GM}$$

$$GG_1 = \frac{50 \times 14}{10.000 - 50}$$

$$400 = \frac{4 \times 10 \times K^2}{9,81 \times 0,5}$$

$$GG_1 = 0,07 \text{ m}$$

$$GG_1 = 0,50 \text{ m}$$

$$K^2 = 49,05$$

$$GM \text{ baru} = 0,57 \text{ m}$$

$$K = 7 \text{ m}$$

$$I \text{ asli} = MK^2 = 10.000 \times 49,05 = 490,500 \text{ m}^4$$

$$I \text{ dari muatan yang dibongkar } G = 50 = 9,800 \text{ m}^4 \times 14^2$$

---


$$I \text{ baru kapal kelilling C asli dari G} = 480,700 \text{ m}^4$$

Dengan teori poros sejajar

$$\frac{I \text{ baru kapal}}{C \text{ dari G}} = \frac{I \text{ baru kapal}}{C \text{ dari G}} - w \times GG_1^2 \dots\dots\dots 3.21$$

$$= 480,7 - 9.950 \times (0,07)^2$$

$$= 480,7 - 49$$

$$= 480,651 \text{ m}^2$$

$$I = MK^2 \quad \rightarrow \quad K^2 \text{ baru} = \frac{1}{M} = \frac{480,651}{9.950}$$

$$K \text{ baru} = 6,95 \text{ m}$$

$$T \text{ baru} = \frac{2 \pi K \text{ baru}}{\sqrt{g \cdot GM \text{ baru}}}$$

$$= \frac{2 \pi 6,95}{\sqrt{9,81}}$$

$$= 18,46 \text{ detik}$$

Catatan :

- 1) Untuk satuan metrik ini sangat sukar, maka gunakan saja dengan satuan feet, caranya yaitu merubah lebar dan GM dari meter ke feet ( 1m = 3,28 feet) lalu gunakan rumus :

$$T = \frac{0,44 B}{\sqrt{GM}} : 3,28 \text{ detik}$$

$$T = \frac{0,134 \cdot B^m}{\sqrt{GM^m}}$$

### 3.4 DAFTAR PUSTAKA

- Hugo Nano Ansanay , 2015 Dasar-Dasar Stabilitas Kapal , Jakarta  
 SCTW 1995 Amandemen Manila 2010  
 Soegiyanto, 2008 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
 Supriyono Hadi, 2013 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
 Wakidjo , 1972 Stabilitas Kapal, Jakarta

## BAB 4

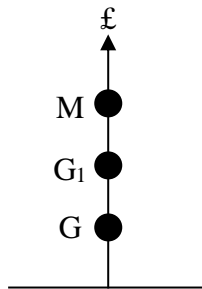
### FREE SURFACE

#### 4.1 KOMPETENSI DASAR

Pada bab ini diharapkan taruna dapat menghitung *free surface correction*.

#### 4.2 URAIAN MATERI

Adalah permukaan zat cair dalam suatu tangki yang dapat bergerak bebas jika kapal mengoleng. Hal ini terjadi apabila cairan dalam tangki tidak penuh atau tangki slack. Akibatnya akan terjadi kenaikan semua titik. G, yang berarti akan memperkecil nilai GM, sehingga GZ juga diperkecil dan momen stabilitas juga akan diperkecil yang sudah diperkecil ini disebut dengan GM efektif atau GM semu.



Perumusan :

$$\text{GM akhir} = \text{GM}$$

$$\text{Free surface correction} = \text{CG}_1 \text{ (lost of GM) -}$$

$$\text{GM efektif} = \text{C}_1\text{M}$$

Untuk menentukan free surface correction (GG<sub>1</sub>) dapat dihitung dengan momen of inertia =

$$GG_1 = \frac{I}{V} = I = \frac{I b^3}{12}$$

$$GG_1 = \frac{l \times b^3}{12 \times V} \times \frac{d_1}{d_2}$$

$$GG_1 = \frac{l \times b^3}{12 \times \Delta} \times \frac{d_2 \times d_1}{d_2} \dots\dots\dots 4.1$$

Correction dan atau tabel Surface Constan

**Tabel Free Surface Correction**

$$GG_1 = \frac{l \times b^3}{12 \times \Delta} \times \frac{d_2 \times d_1}{d_2}$$

$$GG_1 = \frac{l \times b^3}{12 \times \Delta_1} \times \frac{\Delta_1}{\Delta_2} \times \frac{d_2 \times d_1}{d_2}$$

$$GG_1 = \text{tabel F.S. Corr} \times \frac{\Delta_1}{\Delta_2} \times \frac{d_2 \times d_1}{d_2} \dots\dots\dots 4.2$$

**Free Surface Constan**

$$GG_1 = \frac{l \times b^3}{12 \times \Delta} \times \frac{d_2 \times d_1}{d_2}$$

$$GG_1 = \frac{l \times b^3}{12} \times \frac{1}{\Delta} \times \frac{d_2 \times d_1}{d_2}$$

$$GG_1 = \text{tabel F.S. Const.} \times \frac{1}{\Delta} \times \frac{d_2 \times d_1}{d_2} \dots\dots\dots 4.3$$

**Free Surface moment**

$$FSM = \Delta \times \text{F.S Corr}$$

$$\text{FS. Corr} = \frac{\text{F.S Moment}}{\Delta} \dots\dots\dots 4.4$$

Apabila tangki diberi sekat membujur yang membagi lebar tangki menjadi “n” bagian sama lebar, maka GG<sub>1</sub> dapat diperkecil 1/n<sup>2</sup> kali, sehingga :

$$\boxed{GG_1 = \frac{l \times b^3}{12 \times \Delta} \times \frac{d_2 \times d_1}{d_2} \times \frac{1}{n^2}} \dots\dots\dots 4.5$$

Bukti :

Misalkan tangki diberi satu sekat (p) di tengah-tengah lebar tangki, berarti jumlah bagian tangki (n) = 2, maka :

$$\begin{aligned} \text{Free surface correction} &= 2 \times \frac{l(1/2b)^3}{12 V} \\ &= 2 \times \frac{l b^3}{12 V} \times \frac{1}{2^3} \\ &= \frac{l b^3}{12 V} \times \frac{1}{2^2} \\ &= \frac{l b^3}{12 V} \times \frac{1}{n^2} \end{aligned}$$

Dari rumus-rumus tersebut di atas ternyata bahwa berat cairan dalam tangki tidak berpengaruh terhadap free surface, buktikan:

**Keterangan :**

- d<sub>1</sub> = Berat jenis cairan dalam tangki
- d<sub>2</sub> = beris air laut
- Δ = Displacement yang sebenarnya dalam ton
- Δ<sub>1</sub> = Displacement yang ditetapkan dalam ton
- ℓ = Panjang tangki dalam m
- b = Lebar tangki dalam m
- n = Jumlah bagian tangki
- V = Volume benaman

Banyaknya cairan yang slack di dalam tangki tidak mempengaruhi kenaikan semu titik berat kapal, karena jika cairan sedikit, kenaikan semu titik berat cairan dalam tangki besar dan jika cairan banyak, kenaikan semu titik berat cairan dalam tangki kecil, sehingga hal ini tidak berpengaruh terhadap kenaikan semu titik berat kapal.

**Bukti :**

Misalkan displacement kapal 10.000 ton, tangki ballast berukuran panjang 20 m, lebar 10 m dan tinggi 2 m berisi air laut dalam keadaan slack.

Hitunglah F.S Correction apabila tangki berisi  $\frac{1}{4}$  bagian dan  $\frac{3}{4}$  bagian.

**Jawab :**

a. Berisi  $\frac{1}{4}$  bagian dan  $\frac{3}{4}$  bagian depan dengan rumus F.S Corr.

$$\begin{aligned} \text{F.S Corr.} &= \frac{lb^3}{12V} = \frac{\ell b^3}{12 \times \text{disp}} \times \frac{d_2 \times d_1}{d_2} \\ &= \frac{20 \times 10 \times 10 \times 10}{12 \times 10.000} \times 1,025 \\ &= 0,1708333 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Berisi  $\frac{1}{4}$  bagian dengan rumus momen

$$\text{Volume ballast} = \frac{1}{4} \times 20 \times 10 \times 2 = 100 \text{ cu.m}$$

$$\text{Berat ballast} = 100 \times 1,025 = 102,5 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Kenaikan semu titik G ballast} &= \frac{\ell b^3}{12 \cdot V_{\text{ballast}}} \times \frac{d_1}{d_2} \\ &= \frac{20 \times 1.000}{12 \times 100} = 16,6667 \end{aligned}$$

Akibatnya,

$$\begin{aligned} \text{Kenaikan semu titik G kapal} &= \frac{w \times d}{\text{disp}} \\ &= \frac{102,5 \times 16,6667}{10.000} \\ &= 0,1708333 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Berisi  $\frac{1}{4}$  bagian rumus momen

$$\text{Volume ballast} = \frac{1}{4} \times 20 \times 10 \times 2 = 300 \text{ cu.m}$$

$$\text{Berat ballast} = 300 \times 1,025 = 307,5 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Kenaikan semu titik G ballast} &= \frac{\ell b^3}{12 \cdot V_{\text{ballast}}} \times \frac{d_1}{d_2} \\ &= \frac{20 \times 1.000}{12 \times 300} = 5,55556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kenaikan semu titik G kapal} &= \frac{307,5 \times 5,55556}{10.000} \\ &= 0,1708333 \text{ m} \end{aligned}$$

### 4.3 PENUGASAN

#### Penugasan 1

Sebuah kapal memiliki displacement 5.000 ton, KM 8,50983 m, KG 6,25 m, memiliki beberapa tangki yang slack sebagai berikut:

- Tangki bb berukuran 15 x 12 x 2 m, Berat jenis bb 0,94.
- Tangki air tawar berukuran 15 x 20 x 3 berisi separuh,  $p=1$ .
- Tangki DB momen F.S = 4.500 ton.m
- Tangki DO F.S constant = 3.375, Berat jenis DO = 0,85

Hitunglah : Effective GM!

**Jawab:**

F.S Corr. tk bb	=	$\frac{15 \times 12 \times 12 \times 12 \times 0,94}{12 \times 50.000}$	=	0,40608 m
F.S Corr. tk sir air tawar	=	$\frac{15 \times 20 \times 20 \times 20 \times 1}{12 \times 50.000}$	=	0,5000 m
F.S Corr. tk DB	=	$\frac{4.500}{5.000}$	=	0,900 m
F.S Corr. tk DO	=	$3.375 \times \frac{0,85}{5.000}$	=	0,57375 m +
Total F.S Corr. (GG1)				= 2,37983 m
KG awal	=		=	6,250000 m +
Final KH (KG1)				= 8,62983 m
KM	=		=	8,50983 m -
Jadi efektif GM				= 0,12 m

### 4.4 DAFTAR PUSTAKA

Hugo Nano Ansanay , 2015 Dasar-Dasar Stabilitas kapal , Jakarta

SCTW 1995 Amandemen Manila 2010

Soegiyanto, 2008 Stabilitas Kapal, PIP Semarang

Supriyono Hadi, 2013 Stabilitas Kapa,, PIP Semarang

Wakidjo , 1972 Stabilitas Kapal, Jakarta

## BAB 5

### ANGLE OF LOLL

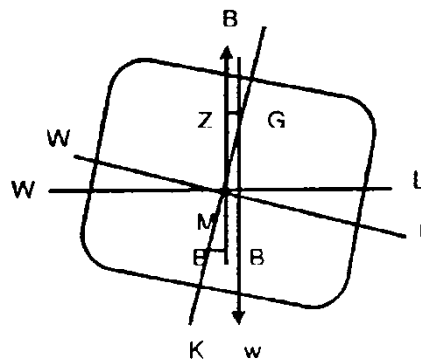
#### 5.1 KOMPETENSI DASAR

Bab ini diharapkan taruna mampu untuk melakukan perhitungan *Angle of Loll* kapal.

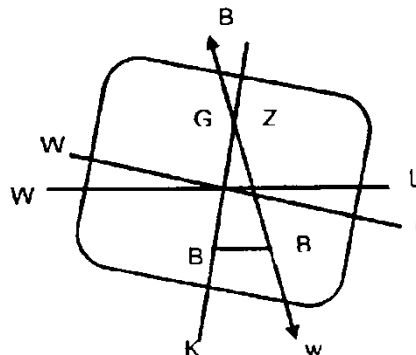
#### 5.2 URAIAN MATERI

##### Pengertian

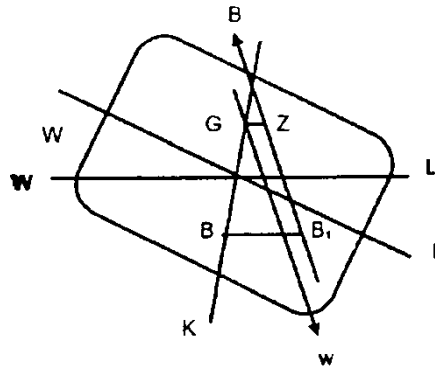
Jika sebuah kapal memiliki GM awal negatif dan pada saat itu mengalami kemiringan dengan sudut sangat kecil, maka kapal akan memiliki Righting Lever atau lengan momen ( $GZ$ ) negatif, sehingga momen stabilitas statisnya pun juga negatif. Efek tersebut dapat dilihat pada gambar. 5.1 dan dapat dilihat bahwa kapal akan terus miring.



**Gambar 5.1 GM Awal Negatif**



**Gambar 5.2 Kemiringan Berlanjut**



**Gambar 5.3 Kemiringan Melebihi Angle of Loll**

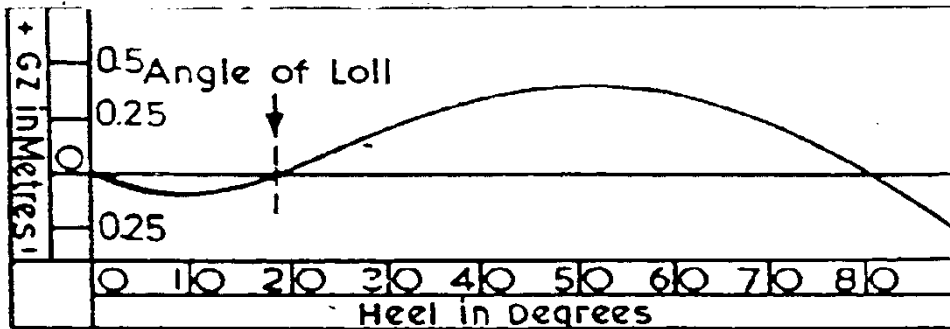
Kemiringan kapal akan terus berlanjut sehingga kapal memiliki sudut sangat besar, hal ini mengakibatkan titik B akan bergerak lebih jauh ke sisi yang lebih rendah dan gaya ke atas yang memiliki titik B tidak dapat lagi di anggap melalui titik Metasentris (M) awal. Jika kemiringan terus berlanjut, maka gaya ke atas yang melalui titik B pada suatu saat dapat melalui titik G, dalam kondisi ini kapal akan memiliki GZ nol, gb. 5.2

Sudut kemiringan pada saat kapal memiliki GZ nol, maka dikatakan bahwa kapal dalam kondisi Angle of Loll, yang disebabkan oleh GM awal negatif. Jadi Angle of Loll adalah sudut kemiringan kapal yang disebabkan oleh GM awal negatif sedemikian rupa sehingga nilai lengan momem (GZ)nya sama dengan nol.

Jika kapal terus miring melebihi Angle of Loll, gb. 5.3 maka nilai lengan momem (GZ)nya akan positif, sehingga momen stabilitas statisnya juga akan positif. Mulai saat itu kapal memiliki kemampuan untuk menegakkan kembali ke kondisi Angle of Loll (kapal tidak bisa tegak) selalu miring dengan sudut miring Angle of Loll.

Kurva stabilitas statis untuk kapal memiliki GM awal negatif, ditunjukkan pada gb. 5.4. Perhatikan bahwa nilai GZ pada saat Angle of Loll adalah nol, pada sudut kemiringan yang lebih kecil dari Angle of Loll nilai GZ-nya negatif dan pada sudut

kemiringan lebih besar dari Angle of Loll nilai GZ-nya positif hingga mencapai sudut hilangnya stabilitas (80°).



Gambar 5.4 Kurva Stabilitas Statis

Catatan :

1. GM awal negatif, pada sudut miring 0 - 18° nilai GZ-nya = negatif.
2. Tepat pada sudut 18° nilai-nya = nol
3. Pada sudut sangat 18° - 80° nilai GZ-nya positif.
4. Sudut 18° = Angle of Loll
5. Sudut 80° sudut hilangnya stabilitas (kapal akan tenggelam pada sudut miring tersebut)

### Perhitungan *Angle of Loll*

Untuk menghitung *Angle of Loll*, kita dapat menggunakan rumus dasar dari analisa Wall Sided Formula, yaitu:

$GZ = \sin \Phi (GM + 0,5 BM \text{tg}^2 \Phi)$ . Karena  $GZ = \text{nol}$ , maka

$0 = \sin \Phi (GM + 0,5 BM \text{tg}^2 \Phi)$ . Karena miring, maka  $\Phi \neq 0$

Sehingga :

$$0 = \sin \Phi (GM + 0,5 BM \text{tg}^2 \Phi)$$

$$\text{tg}^2 \Phi = \frac{-GM}{0,5 BM}$$

$$= \frac{-2(-GM)}{BM} \text{ karena nilai GM negatif, maka:}$$

$$= \frac{2 GM}{BM}$$

$$\text{Tg Angle of Loll} = \sqrt{\frac{2 \text{ GM}}{\text{BM}}} \dots\dots\dots 5.1$$

Untuk mengetahui GM dan BM saat *Angle of Loll* dapat dihitung dengan :

$$\text{GM } \Phi = 2 \text{ GM Sec } \Phi \dots\dots\dots 5.2$$

$$\text{BM } \Phi = \frac{2 \text{ BM}}{\text{Cos}^3 \Phi} \dots\dots\dots 5.3$$

Dimana:

GM  $\Phi$  = GM saat Angle of Loll (meter)

BM  $\Phi$  = Bm saat Angle of Loll (meter)

GM = Gmawal diambil nilai positifnya (meter)

$\Phi$  = Angle of Loll ( $^{\circ}$ )

BM = BM awal (meter)

Analog dengan rumus tadi maka untuk mencari kemiringan kapal, jika:

- a. GM = nol, maka  $\text{tg } \Phi = \sqrt[3]{\frac{2 \text{ GG}_1}{\text{BM}}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot w \cdot d}{\Delta \cdot \text{BM}}}$
- b. Gm positif, maka  $\text{tg } \Phi = \frac{\text{G}_1 \text{G}_2}{\text{G}_2 \text{M}}$   
 $= \frac{\text{GG}_1}{\text{BM}} = \frac{w \times d}{\Delta \cdot \text{BM}}$

**5.3 DAFTAR PUSTAKA**

Hugo Nano Ansanay , 2015 Dasar-Dasar Stabilitas Kapal , Jakarta  
 SCTW 1995 Amandemen Manila 2010  
 Soegiyanto, 2008 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
 Supriyono Hadi, 2013 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
 Wakidjo , 1972 Stabilitas Kapal, Jakarta

**BAB 6**  
**STABILITAS STATIS DENGAN SUDUT SANGET BESAR**  
*(The Statical Stability at Large Angle of eel)*

**6.1 KOMPETENSI DASAR**

Pada bab 6 ini taruna diharapkan mampu untuk menghitung stabilitas statis dengan sudut sanget besar.

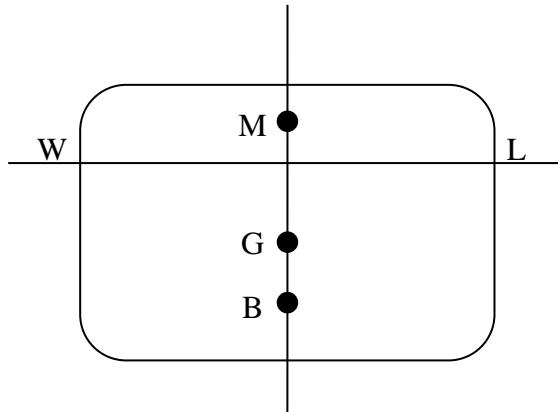
**6.2 URAIAN MATERI**

Pada saat kapal mengoleng dengan sudut kecil, GM merupakan ukuran stabilitas, artinya dengan cukup mengetahui GM kapal, kita dapat mengetahui nilai stabilitas kapal yang akhirnya meramalkan tingkat kenyamanan kapal selama pelayaran. Pada saat kapal mengoleng dengan sudut senget kecil, letak titik M dapat dianggap tetap di bidang center line.

Pada saat kapal mengoleng dengan sudut senget besar (lebih dari  $15^\circ$ ) GM tidak lagi dipergunakan sebagai ukuran stabilitas kapal, karena letak titik M sudah tidak dapat dianggap tetap, sehingga sangat sukar untuk menentukan besar GM. Sedangkan nilai  $G_2$  cukup dapat dihitung dengan mudah, sehingga dapat dijadikan sebagai ukuran stabilitas kapal. Oleh karena titik M tidak lagi dianggap tetap, maka  $GZ = GM \sin \Phi$ .

Stabilitas dengan sudut senget besar sering disebut dengan stabilitas bentuk karena nilai stabilitas yang didapat, tergantung dari bentuk kapal (titik B yang sangat berperan). Stabilitas dengan sudut senget kecil sering disebut dengan stabilitas bobot karena nilai stabilitas yang didapat tergantung dari titik berat kapal (G).

Pada gambar 6.1 kapal dalam posisi tegak dan memiliki stabilitas statis awal positif. Setelah miring dengan sudut senget besar gambar 6.2 titik B bergerak ke arah senget kapal misal sampai  $B_1$ . Dari  $B_1$  ditarik garis tegak lurus ke atas dan belum tentu berpotongan dengan titik M, dan  $BB_1$  tegak lurus BC, momen stabilitas statis =  $W \times GZ$  dan  $GZ$  sebagai lengan momen. Untuk mencari lengan momen  $G_2$  ada dua cara yaitu analisa ATWOOD Formula dan analisa WALL SIDED FORMULA.

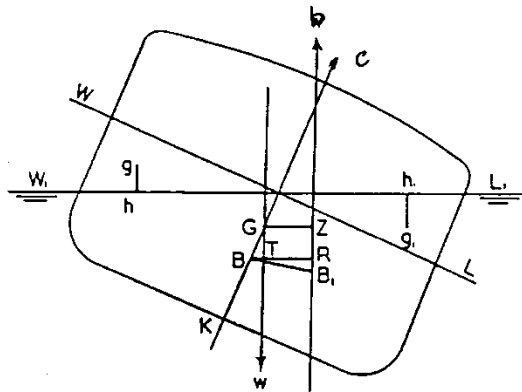


**Gambar 6.1 Kapal dalam Posisi Tegak Dan Memiliki Stabilitas Statis**

**1. Analisa Atwood Formula**

Momen Stabilitas Statis = $GZ \times \Delta$ .....	6.1
--	-----

a. Jika titik G di atas titik B (Gb. 6.2)



**Gambar 6.2 Titik B Bergerak Ke Arah Senget Kapal**

$$GZ = BR - BT \quad BR = \frac{v \cdot hh_1}{V_{benaman}} \quad \text{dan} \quad BT = BG \sin \Phi$$

$GZ = \frac{v \cdot hh_1}{V_{benaman}} - BG \sin \Phi$ .....	6.2
--	-----

b. Jika titik G berimpit dengan titik B

$$GZ = BR$$

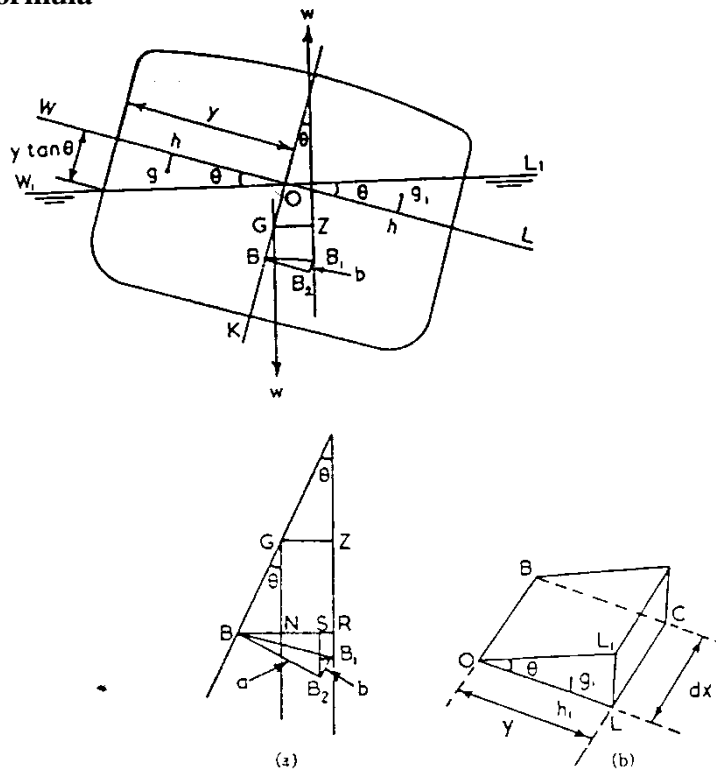
$$GZ = \frac{v \cdot h h_1}{V} \dots\dots\dots 6.3$$

c. Jika titik G di bawah titik B

$$GZ = BR + GT$$

$$GZ = \frac{v \cdot h h_1}{V} + BG \sin \Phi \dots\dots\dots 6.4$$

2. Wall Side Formula



Gambar 6.3 Wall Side Formula

a. Jika titik G di atas titik B

$$GZ = BR - BN \text{ dan } BR = BS + SR$$

Jumlah momen mendatar yang bekerja pada segitiga

$$L1OL = \text{Momen inertiia mendatar segitiga L1OL} \times \text{tg } \Phi$$

$$= l \times \text{tg } \Phi = v \times hh_1$$

$$\boxed{BB_2 = \frac{v \times hh}{V} = \frac{l \times \text{tg } \Phi}{V} = BM \text{ tg } \Phi} \dots\dots\dots (6.5)$$

Jumlah momen vertikal ke atas yang bekerja pada segitiga

$$L1OI = \frac{1}{2} \text{ momen inertiia ke atas} \times \text{tg}^2 \Phi$$

$$= \frac{1}{2} I \times \text{tg}^2 \Phi$$

$$= v (g_1 h_1 + gh)$$

$$= v \times 2 gh$$

$$\boxed{B_1B_2 = \frac{v \times 2gh}{V} = \frac{1/2 I \times \text{tg}^2 \Phi}{V} = 1/2 BM \text{ Tg}^2 \Phi} \dots\dots\dots (6.6)$$

$$GZ = BR - BN$$

$$GZ = (BS + SR) - BN$$

$$GZ = (BB_2 \cos \Phi + B_1B_2 \sin \Phi) - BG \sin \Phi$$

( $B_1B_2$  dianggap sama dengan  $B_2R$ , selanjutnya masukkan rumus 6.5 dan 6.6)

$$GZ = (BM \text{ tg } \Phi \cos \Phi + \frac{1}{2} BM \text{ tg}^2 \Phi \sin \Phi) - BG \sin \Phi$$

$$(\text{tg } \Phi \cos \Phi = \sin \Phi)$$

$$GZ = BM \sin \Phi + \frac{1}{2} BM \text{ tg}^2 \Phi \sin \Phi - BG \sin \Phi$$

$$GZ = \sin \Phi (BM + \frac{1}{2} BM \text{ tg}^2 \Phi \sin \Phi - BG)$$

$$GM = BM - BG$$

$$\boxed{GZ = \sin \Phi (GM + \frac{1}{2} BM \text{ tg}^2 \Phi)} \dots\dots\dots 6.7$$

**b. Jika titik G berimpit dengan titik B**

$$GZ = BR$$

$$\boxed{GZ = \sin \Phi (BM + \frac{1}{2} BM \text{ tg}^2 \Phi)} \dots\dots\dots 6.8$$

**c. Jika titik G di bawah titik B**

$$GZ = BR + GN$$

$GZ = \sin \Phi (BM + \frac{1}{2} BM \text{tg}^2 \Phi)$	..... 6.9
---	-----------

**6.3 PENUGASAN**

1. A ship of 6.000 tonnes displacement has KB 3 m, KM 6 m, and KG 5,5 m. Find the moment of statical stability at 25 degrees heel!

$$\begin{aligned} GZ &= \sin \Phi (GM + \frac{1}{2} BM \text{tg}^2 \Phi) \\ &= \sin 25^\circ (0,5 + \frac{1}{2} \times 3 \times \text{tg}^2 25^\circ) \\ &= \sin 25^\circ (0,8262) \\ &= 0,35 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment of Statical Stability} &= W \times GZ \\ &= 6.000 \times 0,35 \\ &= 2.100 \text{ tonnes - meters} \end{aligned}$$

2. A box shaped vessel 65 m x 12 m x 8 m, has KG 4m, and is floating in salt water upright on an even evel keel at 4m, draft F and A. Calculate the moment of statical stability at (a), 5 degrees and (b), 25 degrees heel.

$$\begin{aligned} W &= L \times B \times \text{draft} \times 1,025 \text{ KB} = \frac{1}{2} \text{ draft} \\ &= 65 \times 12 \times 4 \times 1,025 \text{ tonnes} \\ &= 3.198 \text{ tonnes} \end{aligned}$$

$$KB = 2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} BM &= \frac{B^2}{12 d} \\ &= \frac{12 \times 12}{12 \times 4} \\ &= 3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$KB = 2 \text{ m}$$

$$BM = 3 \text{ m}$$

$$KM = 5 \text{ m}$$

$$KG = 4 \text{ m}$$

$$GM = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{At } 5^\circ \text{ heel } GZ &= GM \sin \Phi \\ &= 1 \times \sin 5^\circ \\ &= 0,0872 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment of Statical Stability} &= W \times GZ \\ &= 3.918 \times 0,0872 \\ &= 278,9 \text{ tonnes-metres} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{At } 25^\circ \text{ heel } GZ &= (GM + \frac{1}{2} BM \text{tg}^2 \Phi) \sin \Phi \\ &= (1 + \frac{1}{2} \times 3 \times \text{tg}^2 25^\circ) \sin 25^\circ \\ &= (1 + 0,3262) \sin 25^\circ \\ &= 1,3262 \sin 25^\circ \\ &= 0,56 \text{ metres} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment of Statical Stability} &= W \times GZ \\ &= 3.198 \times 0,56 \\ &= 1.790,4 \text{ tonnes-metres} \end{aligned}$$

Ans. (a) 278,9 tonnes metres and (b) 1.796,9 tonnes – metres.

#### 6.4 DAFTAR PUSTAKA

Hugo Nano Ansanay , 2015 Dasar-Dasar Stabilitas Kapal , Jakarta  
SCTW 1995 Amandemen Manila 2010  
Soegiyanto, 2008 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
Supriyono Hadi, 2013 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
Wakidjo , 1972 Stabilitas Kapal, Jakarta

## BAB 7

### LENGKUNGAN STABILITAS STATIS (*CURVES OF STATICAL STABILITY*)

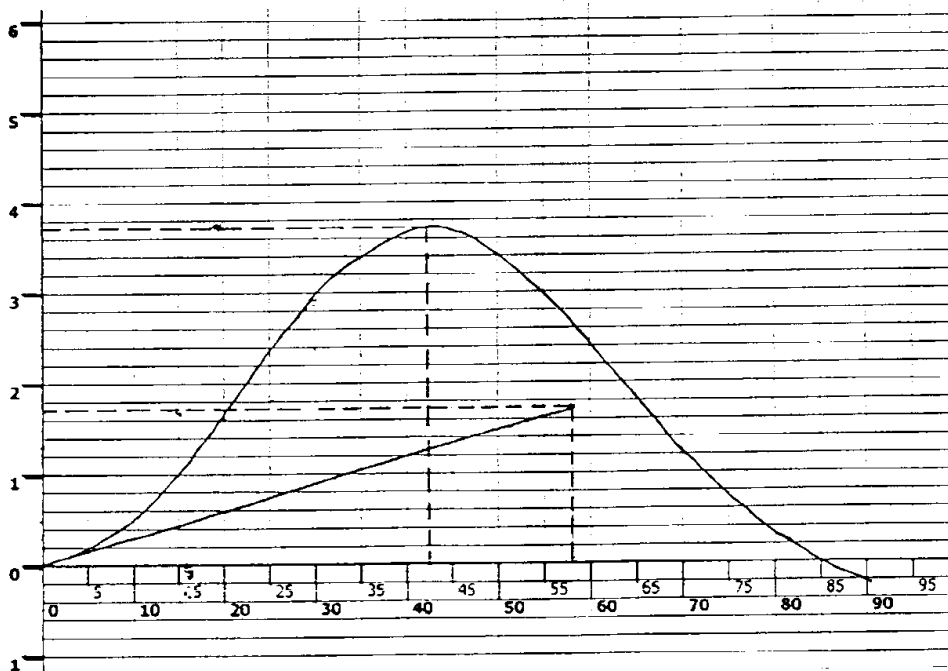
#### 7.1 KOMPETENSI DASAR

Pada bab ini para taruna diharapkan mampu untuk lengkungan stabilitas statis pada kapal.

#### 7.2 URAIAN MATERI

Lengkungan stabilitas statis adalah suatu lengkungan yang menggambarkan kondisi kapal sejak kapal memiliki lengan kopel stabilitas (GZ) nol sampai dengan memiliki lengan kopel stabilitas nol kembali, dari berbagai sudut senget dengan displacement tertentu.

Dari lengkungan stabilitas statis ini akan didapatkan berbagai macam data-data yang sangat dibutuhkan dalam suatu pelayaran antara lain : (Gb. 7.1)

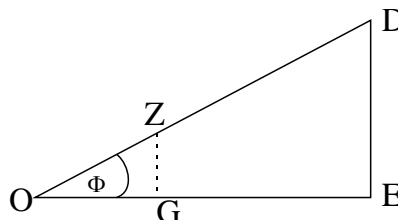


**Gambar 7.1** Lengkung Stabilitas Statis

## Manfaat Lengkung Stabilitas Statis

1. Theoretical range of stability atau range of stability adalah suatu daerah di bawah lengkung stabilitas statis sejak kapal memiliki GZ nol sampai kapal memiliki GZ nol berikutnya dalam Gb. 7.1 sejak kapal tegak sampai dengan senget  $85^\circ$ .
2. The max righting lever and the angle of heel at which it occurs. Maksimum GZ adalah lengan kapal stabilitas maksimum yang dialami kapal pada saat kapal senget tertentu. Dalam Gb. 7.1, GZ maksimum dialami oleh kapal pada saat senget  $43^\circ$ .
3. Pratical range of stability adalah suatu daerah dibawah lengkungan stabilitas statis yang dialami oleh suatu kapal sejak kapal memiliki GZ nol sampai dengan GZ maksimum. Dalam Gb. 7.1 sejak kapal tegak sampai dengan senget  $43^\circ$ .
4. Point of the contra flexure (deckedge immersion) adalah suatu titik dimana lengkungan stabilitas statis berubah dari kondisi cekung menjadi cembung dan pada saat itu ditandai pinggir deck mulai menyentuh air laut. Dalam Gb. 7.1 terjadi pada saat kapal senget  $31^\circ$  yaitu titik A.
5. The angle of vining point adalah suatu sudut senget dimana pada saat itu nilai GZ menjadi nol kembali. Pada Gb. 7.1 terjadi saat kapal senget  $85^\circ$ .
6. The initial metacentric height (GM awal adalah jarak antara base line dengan titik potong antara tangent line dengan garis tegak yang melalui sudut senget 1 radial atau sudut  $57,3^\circ$ . Pada Gb. 7.1 GM awal = DE = 1,75 m, atau GM saat kapal senget  $5^\circ$ .

**Buktikan (Gb. 7.1) bahwa DE = GM awal**



Bukti:

$$\Phi = 7,5^\circ$$

$$\Delta OGZ \sim \Delta ODE$$

Dalam segitiga sebangun berlaku aturan:

$$OG : GZ = OE : DE$$

$$OG : GM \sin \Phi = OE : DE$$

$$7\frac{1}{2} : GM \sin 7\frac{1}{2} = 57,3 : DE$$

Dalam sudut kecil, sinus sudut kecil = perbandingan sudut tersebut dengan radial

$$7\frac{1}{2} : GM \sin \frac{7\frac{1}{2}}{57,3} = 57,3 : DE$$

$$GM = \frac{7\frac{1}{2} \times DE}{57,3} \times \frac{57,3}{7\frac{1}{2}}$$

$$GM = DE$$

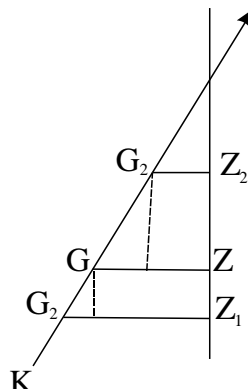
Atau

$$DE = GM \text{ awal (terbukti)}$$

### GZ curve dan KN curve

GZ curve dan KN curve digunakan sebagai dasar perhitungan untuk membuat lengkungan stabilitas.

#### GZ curve



$$G_1Z_1 = GZ + GG_1 \sin \Phi$$

..... 7.1

$$G_2Z_2 = GZ + GG_2 \sin \Phi$$

..... 7.2

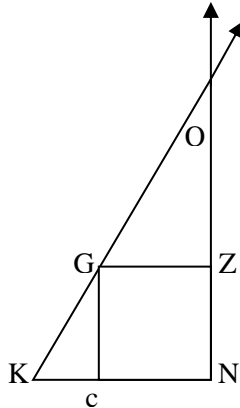
**Keterangan :**

$GZ = GZ$  pembangunan yang dibuat berdasarkan  $KG$  yang telah ditetapkan pada  $GZ$  curve, dengan argument displacement kapal.

$G_1Z_1 = GZ$  kapal yang dibuat berdasarkan  $KG_1$ .

$G_2Z_2 = GZ$  kapal yang dibuat berdasarkan  $KG_2$  yang dimiliki oleh kapal saat itu.

**KN curve**

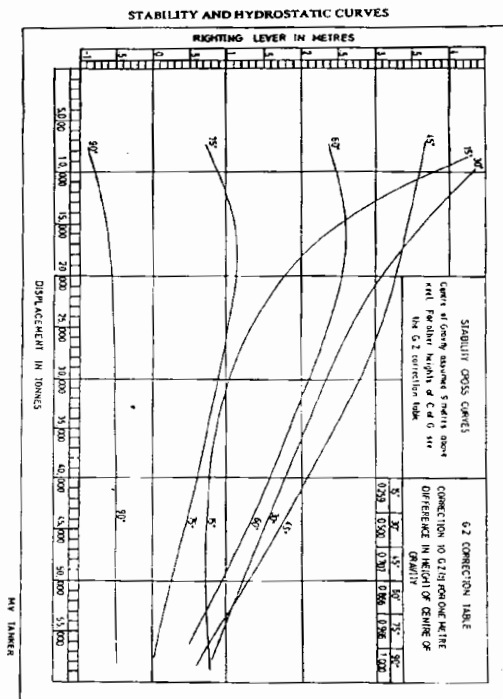


$GZ = KN - KG \sin \Phi$

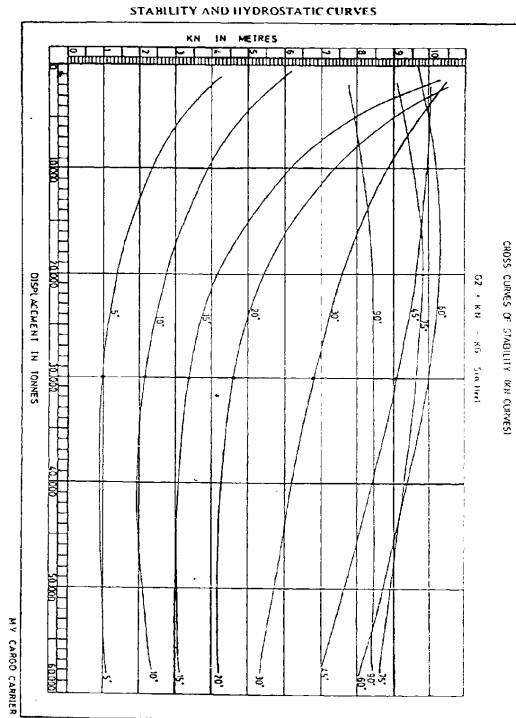
..... 7.3

$GZ = GZ$  yang dibuat berdasarkan  $KG$  kapal.

$KN = KN$  yang didapatkan dari  $KN$  curve dengan argument displacement kapal.



**Gambar 7.2 Stabilitas dan Kurva Hydrostatic**



Gambar 7.3 Cross Curves of Stability

### 7.3 PENUGASAN

#### Penugasan 1

1. Buatlah lengkungan stabilitas statis untuk kapal yang memiliki  $\Delta = 35.000$  ton,  $KG = 7$  m, dengan interval sudut senget  $15^\circ$ . GZ curve terlampir (KG assumed = 9 m).
2. Tulislah data-data penting dan beberapa besarnya!
3. Pertanyaan yang sama, tetapi KG kapal = 11 m.

#### Jawab:

The Assumed KG = 9 m

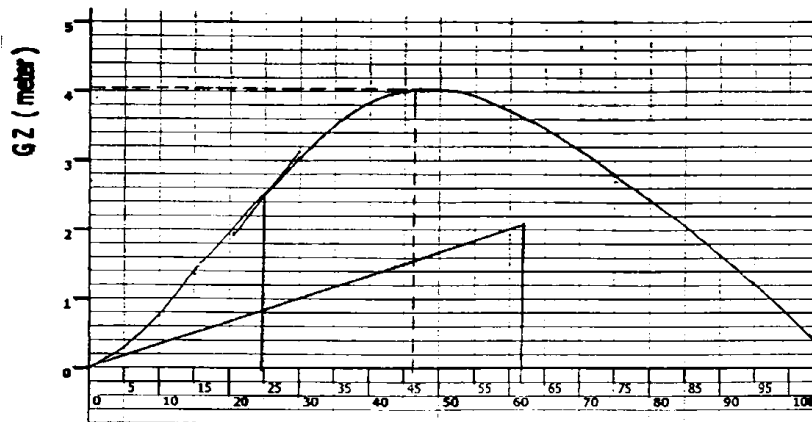
KG yang sebenarnya dimiliki kapal = 7 m

---

GG1 = 2 m (c = +)

1.

Heel	GZ pada KG 9 m	GG1 sin $\Phi$ (+)	GZ pada KG 7 m
0°	0	2 . 0 = 0	0
15°	0,9	2 . 0,259 = 0,518	1,418
30°	2,08	2 . 0,500 = 1,000	3,080
45°	2,43	2 . 0,707 = 1,414	3,844
60°	1,85	2 . 0,866 = 1,732	3,582
75°	0,77	2 . 0,966 = 1,932	2,702
90°	-0,40	2 . 1,000 = 2,000	1,600



The range of stability 0° - 105° Heel

The angle of vanishing point 105° Heel

The max righting lever 4,05 meter occuring at 47° Heel

The initial metacentris height 1,9 meter

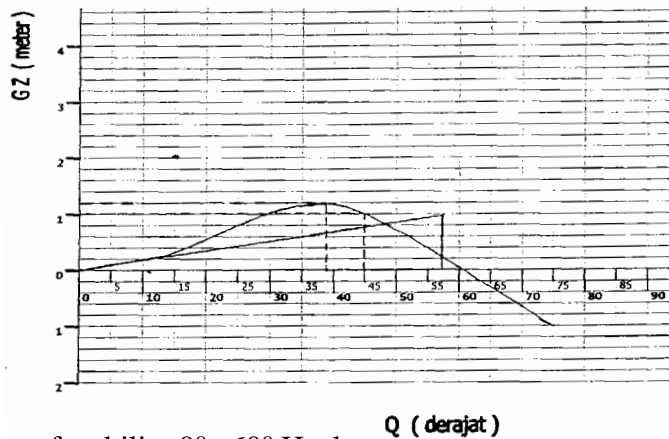
The point of the contra flexure 25° Heel

The range of practical stability 0° - 47° Heel

The moment of statical stability at 45° Heel =  $W \times GZ = 3.500 \times 4,05$   
 = 141.750 ton m

2. The assumed KG = 9 m  
 The original KG = 11 m  
 GG<sub>1</sub> = 2 m (c = -)

Heel	GZ pada KG 9 m	GG <sub>1</sub> sin Φ (+)	GZ pada KG 7 m
0°	0	2 . 0 = 0	0
15°	0,9	2 . 0,259 = 0,518	0,382
30°	2,08	2 . 0,500 = 1,000	1,080
45°	2,43	2 . 0,707 = 1,414	1,016
60°	1,85	2 . 0,866 = 1,732	0,118
75°	0,77	2 . 0,966 = 1,932	-1,162
90°	-0,40	2 . 1,000 = 2,000	-2,400



The range of stability 0° - 60° Heel

The angle of vanishing point 60° Heel

The max righting lever 1,2 meter occurring at 39° Heel

The initial metacentric height 1,0 meter

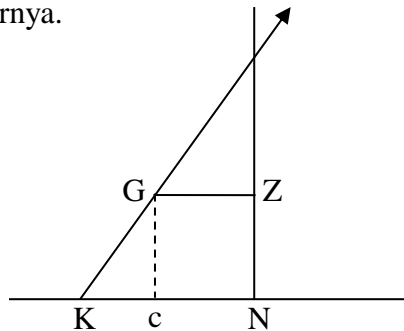
The point of the contra flexure 23° Heel

The range of practical stability 0° - 39° Heel

The moment of statical stability at 45° Heel =  $W \times GZ$   
 =  $3.500 \times 1,0$   
 = 35.000 ton m

**Curves of statical stability dibuat dengan KN curve.**

Dengan KN curve, KG belum ditetapkan, jadi langsung menggunakan KG yang sebenarnya.



$GZ = KN - c$

$GZ = KN - KG \sin \Phi$	..... 7.4
--------------------------	-----------

Keterangan :

KN = didapat dari KN curve dengan argument  $\Delta$

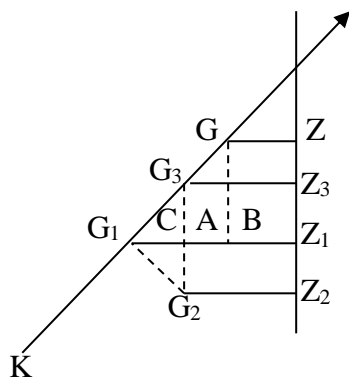
KG = KG yang sebenarnya

**Pengaruh perubahan bobot terhadap dengan lengkungan stabilitas**

**Penugasan 2**

Kapal memiliki displacement 35.000 KG 7 m. Akibat dari ombak besar 1.750 ton muatan bergeser secara horisontal sejauh 10 m (KG dalam GZ curve = 9 m).

Buatlah lengkungan stabilitas setelah bobot bergeser.



$$\begin{aligned}
GZ &= GZ \text{ pada KG } 9 \text{ m} \\
G_1Z_1 &= GZ \text{ pada KG } 7 \text{ m sebelum bobot bergeser} \\
G_3Z_3 &= GZ \text{ pada KG } 7 \text{ m setelah bobot bergeser} \\
G_1Z_1 &= GZ + G_1B \\
G_1Z_1 &= GZ + GG_1 \sin \Phi \\
G_3Z_3 &= G_1Z_1 - G_1A \\
&= G_1Z_1 - G_1G_2 \cos \Phi \\
\text{Karena } G_1G_2 &= \frac{w \cdot d}{W} \\
G_3Z_3 &= GZ - \frac{w \cdot d}{W} \cos \Phi
\end{aligned}$$

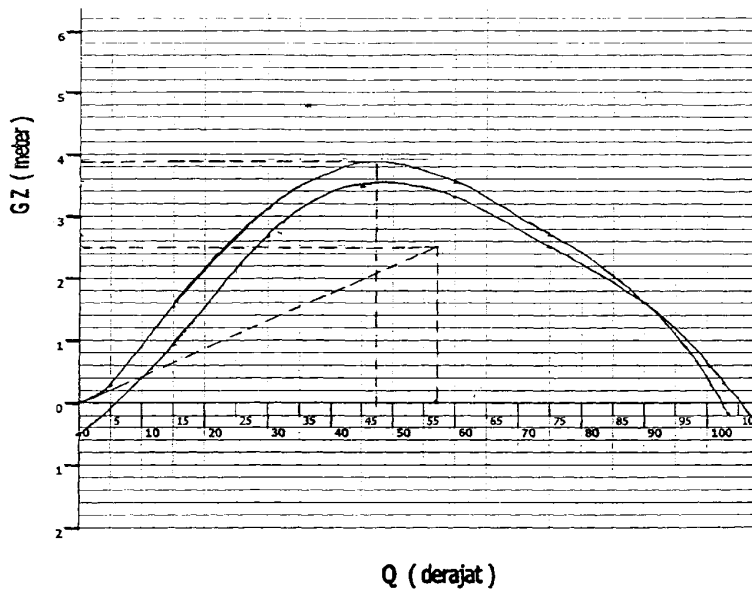
Jadi, jika terjadi penggeseran  $G_1Z_1$  harus dikoreksi dengan  $(-) \frac{w \cdot d}{W} \cos \Phi$

**Jawab:**

$$\begin{aligned}
\text{Assumed KG} &= 9 \text{ m} & c &= G_1G_2 \cos \Phi \\
\text{Original} &= 7 \text{ m} & &= \frac{1.750 \times 10}{35.000} \cos \Phi \\
GG_1 &= 2 \text{ m} & &= 0,5 \cos \Phi
\end{aligned}$$

Heel	GZ pada KG 9 m	GG1 sin $\Phi$ (+)	$G_1Z_1$ pada KG 7 m	0,5 cos $\Phi$ (-)	$G_3Z_3$ setelah bobot bergeser
0°	0	2 . 0 = 0	0	0,5 . 0,0 = 0,5	-0,500
15°	0,9	2 . 0,259 = 0,518	1,418	0,5 . 0,966 = 0,483	0,935
30°	2,08	2 . 0,500 = 1,000	3,080	0,5 . 0,866 = 0,433	2,647
45°	2,43	2 . 0,707 = 1,414	3,844	0,5 . 0,707 = 0,353	3,491

60°	1,85	2 . 0,866 = 1,732	3,582	0,5 . 0,500 = 0,250	3,332
75°	0,77	2 . 0,966 = 1,932	2,702	0,5 . 0,259 = 0,129	2,573
90°	-0,40	2 . 1,000 = 2,000	1,600	0,5 . 0,000 = 0	1,600



#### 7.4 DAFTAR PUSTAKA

- Hugo Nano Ansanay, 2015 Dasar-Dasar Stabilitas Kapal , Jakarta  
SCTW 1995 Amandemen Manila 2010  
Soegiyanto, 2008 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
Supriyono Hadi, 2013 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
Wakidjo, 1972 Stabilitas Kapal, Jakarta

## BAB 8

### STABILITAS DINAMIS *DINAMICAL STABILITY*

#### 8.1 KOMPETENSI DASAR

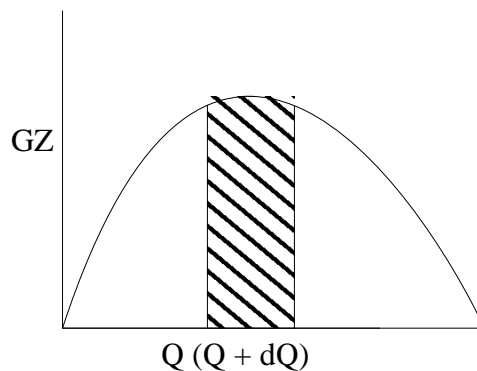
Pada bab ini diharapkan taruna mampu untuk menghitung stabilitas dinamis pada kapal.

#### 8.2 URAIAN MATERI

Stabilitas Dinamis adalah sejumlah kerja ( usaha ) yang harus dilakukan untuk membuat kapal senget sampai pada sudut senget tertentu. Usaha yang dilakukan untuk menyengetkan  $Q$  sampai dengan  $( Q^\circ + dQ )$  adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Usaha} &= \int_0^Q \text{displacement} \times GZ \cdot dQ \\ &= \text{disp} \int_0^Q GZ \cdot dQ \end{aligned}$$

Merupakan energi potensial yang dimiliki oleh kapal pada sudut tersebut (gambar 8.1)



**Gambar 8.1 Energi Potensial**

Sampai dengan senget berakhirnya stabilitas (vishing point) merupakan nilai maximum dari energi potensial yang dimiliki oleh kapal tersebut.

Apabila ada kekuatan lain yang memiliki energi potensial lebih besar dari energi potensial maximum yang dimiliki oleh kapal tersebut maka kapal tersebut akan tenggelam. Pada saat kapal tegak dan kemudian kapal senget maka stabilitas



Rumus tersebut disebut **Mosely's Formula** dimana:

$v$  = Volume bagi segitiga WOW ( $m^3$ )

$V$  = Volume benaman kapal ( $m^3$ )

$BG$  = Jarak titik B ke G saat kapal tegak (m)

Pada stabilitas dengan sudut senget besar didapat nilai :

$GZ = (GM + \frac{1}{2} BM \text{tg}^2 Q) \sin Q$  dengan dasar ini

$$\begin{aligned}
 \text{Stabilitas dinamis} &= W \int_0^Q \left( GM + \frac{1}{2} BM \text{tg}^2 Q \right) \sin Q \cdot dQ \\
 &= W \times GM \int_0^Q \sin Q \cdot dQ + \frac{1}{2} W \cdot BM \int_0^Q \frac{\sin^3 Q}{\cos^2 Q} dQ \\
 &= W \times GM [-\cos Q]_0^Q + \frac{1}{2} W \cdot BM \int_0^Q \frac{\sin Q (1 - \cos^2 Q)}{\cos^2 Q} dQ \\
 &= W \times GM \left[ \frac{1 - \cos Q}{2} \right]_0^Q - \frac{1}{2} W \cdot BM \left[ \int_0^Q \text{sex} Q \text{tg} Q \cdot dQ - \int_0^Q \sin Q \cdot dQ \right] \\
 &= 2 \cdot W \times GM \times \text{Hav} Q + \frac{1}{2} W \cdot BM \{ [\text{sex} Q]_0^Q - [1 - \cos Q]_0^Q \} \\
 &= 2 \cdot W \times GM \times \text{Hav} Q + \frac{1}{2} W \cdot BM (\text{sex} Q + \cos Q - 2) \\
 &= 2 \cdot W \times GM \times \text{Hav} Q + \frac{1}{2} W \cdot BM \times \text{sex} Q (1 - \cos Q)^2 \\
 &= 2 \cdot W \times GM \times \text{Hav} Q + 2 W \times BM \times \text{Hav}^2 Q \times \text{sex} Q
 \end{aligned}$$

$\text{Stabilitas dinamis} = 2 \cdot W \times \text{Hav} Q (GM + BM \text{Hav} Q \times \text{sex} Q)$	..... 8.2
--	-----------

Dimana:

$W$  = Displacement

$\text{Sinv} Q = \frac{1}{2} (1 - \cos Q)$

$GM$  = GM awal (m)

$BM$  = BM awal (m)

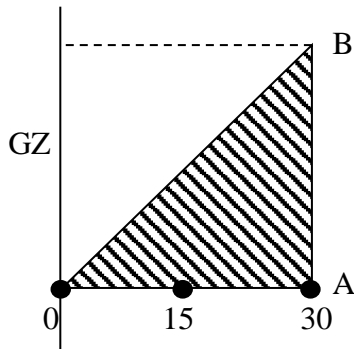
$\text{Hav} Q = \frac{1}{2} \text{sin} Q$

Stabilitas dinamis juga dapat dicari dengan rumus :

Stabilitas dinamis = W x luas di bawah lengkungan stabilitas statis ..... 8.3

Atau

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas} &= W \times \text{Luas OAB} \\ \text{dinamis} &= W \times \frac{1}{3} \times \frac{h}{57,3} \times \sum \text{Luas} \end{aligned}$$



**8.3 PENUGASAN :**

1. Sebuah kapal memiliki 5.000 ton. Dari lengkungan stabilitas didapat data-data sebagai berikut:

Q	10°	20°	30°	40°
GZ	0,21	0,33	0,40	0,43

Hitunglah Dinamical Stability pada sudut senget 40°!

**Jawab:**

Q	0°	10°	20°	30°	40°
GZ	0	0,21	0,33	0,40	0,43
SM	1	4	2	4	1
∑ Luas	0	0,84	0,66	1,6	0,43

$$\text{Jadi Dinamical Stability} = 5.000 \times \frac{1}{3} \times \frac{10}{57,3} \times 3,53 = 1026,5 \text{ ton-m}$$

2. Kapal berbentuk kotak berukuran L x B x D = 45 x 10 x 6 m mengapung di air laut dengan draft 4 m dan GM = 0,6 m.

Hitunglah stabilitas dinamis pada sudut senget 20°!

**Jawab:**

Q	0°	10°	20°
GZ	0	GM sin Q	$\left(GM + \frac{1}{2}BM \operatorname{tg}^2 Q\right) \sin Q$

$$Q = 10^\circ$$

$$GZ = GM \sin Q$$

$$GZ = 0,6 \sin 10^\circ$$

$$GZ = 0,104 \text{ m}$$

$$Q = 20^\circ$$

$$BM = \frac{B^2}{12 D} = \frac{100}{40} = 2,08$$

$$GZ = \left(Gm + \frac{1}{2}BM \operatorname{tg}^2 Q\right) \sin Q$$

$$GZ = \left(0,6 + \frac{1}{2} \times 2,08 \times \operatorname{tg}^2 20^\circ\right) \sin 20^\circ$$

$$GZ = (0,6 + 0,138) \sin 20^\circ$$

$$GZ = 0,252$$

$$\text{Displ} = 45 \times 10 \times 4 \times 1,025 = 1.845 \text{ ton}$$

Q	0°	10°	20°	
GZ	0	0,104	0,52	
SM	1	4	1	
$\Sigma$ Area	0	0,406	0,252	= 0,668

$$\begin{aligned} \text{Jadi Dinamical} & \\ \text{Stability} & = \frac{1}{3} \times \frac{10}{57,3} \times 0,668 \times 1.845 = 71,77 \text{ ton-m} \end{aligned}$$

3. Kerjakan latihan soal nomor 2 dengan rumus:

$$\text{Stabilitas dinamis} = 2 \cdot W \cdot \sin \alpha \cdot (\text{GM} + \text{BM} \sin \alpha \times \sec \alpha)$$

**Jawab:**

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas dinamis} & = 2 \cdot W \cdot \sin \alpha \cdot (\text{GM} + \text{BM} \sin \alpha \times \sec \alpha) \\ & = 2 \times 1.845 \times \sin 20^\circ (0,6 + 2,08 \sin 20^\circ \times \sec 20^\circ) \\ & = 3.690 \times \frac{1}{2} (1 - \cos 20^\circ)(0,6 + 2,08 \times \frac{1}{2} (1 - \cos 20^\circ) \times \frac{1}{\cos 20^\circ}) \\ & = (111,27195) \left( 0,6 + 0,06553 \times \frac{1}{0,93969} \right) \\ & = (111,27195) (0,6 + 0,06974) \\ & = 74,5 \text{ ton-m} \end{aligned}$$

**Catatan :**

1. Angka 1/3 dipergunakan untuk SM 141
2. Angka 3/8 dipergunakan untuk SM 1331

#### 8.4 DAFTAR PUSTAKA

- Hugo Nano Ansanay, 2015 Dasar-Dasar Stabilitas Kapal, Jakarta  
 SCTW 1995 Amandemen Manila 2010  
 Soegiyanto, 2008 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
 Supriyono Hadi, 2013 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
 Wakidjo, 1972 Stabilitas Kapal, Jakarta

## BAB 9

### TRIM

#### 9.1 KOMPETENSI DASAR

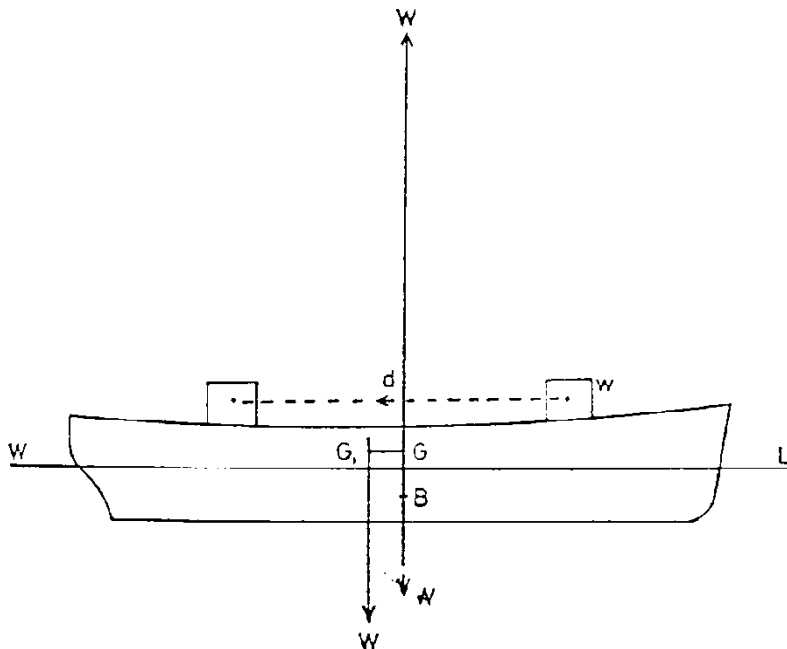
Pada bab ini diharapkan taruna dapat menghitung perubahan trim pada kapal.

#### 9.2 URAIAN MATERI

##### Pengertian

Trim adalah perbedaan antara draft depan dan belakang. Apabila draft depan lebih besar / kecil dari draft belakang maka dikatakan trim ke depan / trim ke belakang (trim by stern), dan apabila draft depan sama dengan draft belakang maka dikatakan trim sama dengan nol dan kapal dalam kondisi even keel.

Perhatikan Gb. 9.1



**Gambar 9.1 Kondisi Trim**

Pada awalnya kapal even keel dengan garis air  $w_1$ , setelah bobot  $w$  ton digeser ke belakang sejauh “ $d$ ” meter maka berlakulah rumus:

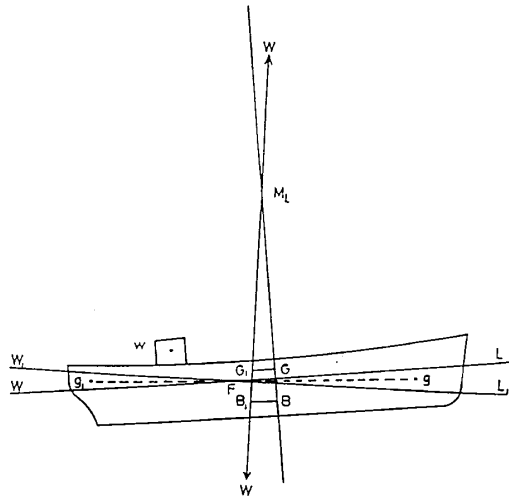
$$GG_1 = \frac{w \cdot d}{W} \text{ atau } GG_1 \times W = w \cdot d$$

$$\boxed{GG_1 \times W = w.d} \dots\dots\dots 9.1$$

Dimana :

w. d = trimming moment

Karena jarak G dan B dinilai sangat kecil jika dibandingkan dengan  $GM_1$  dan  $BM_1$ , maka dalam perhitungan dapat dianggap sama. **Gb. 9.2.**



**Gambar 9.2 Jarak G dan B**

$$\boxed{GM_L = BM_L}$$

$$\boxed{BM_L = \frac{I_L}{V}} \dots\dots\dots 9.2$$

$I_L$  merupakan momen inertiya membujur pada bidang air W – L disekitar center of Floatation (F) atau Cof, yang besarnya:

$$\boxed{I_L = \frac{B \cdot L^3}{12}}$$

$$\boxed{BM_L = \frac{B \cdot L^3}{12 \cdot V}} \dots\dots\dots 9.3$$

a. Untuk bidang air yang berbentuk empat persegi

$$V = L \cdot B \cdot D \text{ maka } BM_L = \frac{B \cdot L^3}{12 \cdot L \cdot B \cdot D}$$

atau

$$\boxed{BM_L = \frac{L^2}{12 \cdot D}} \dots\dots\dots 9.4$$

b. Untuk bidang air yang berbentuk prisma segitiga

$$V = \frac{1}{2} \cdot L \cdot B \cdot D \text{ maka } BM_L = \frac{B \cdot L^3}{12/2 \cdot L \cdot B \cdot D}$$

atau

$$\boxed{BM_L = \frac{L^2}{6 \cdot D}} \dots\dots\dots 9.5$$

Keterangan :

$GG_1$  = lengan momen (meter)

w = berat bobot (ton)

d = jarak penggeseran bobot (meter)

f = Cof (Center of Floatation)

$GM_L$  = tinggi metasentris membujur (meter)

$BM_L$  = tinggi metasentris membujur di atas titil apung (meter)

B = lebar kapal (meter)

L = LBP (panjang kapal(meter))

V = volume benaman ( $m^3$ )

- D = draft kapal (meter)
- WL = garis air mula-mula (meter)
- $W_1L_1$  = garis air setelah terjadi pemindahan bobot (meter)

**Change of Trim (C.O.T)**

C.O.T adalah perubahan trim awal dan trim akhir yang dialami oleh kapal sebelum dan sesudah melakukan kegiatan.

COT = trim awal $\pm$ trim akhir	..... 9.6
----------------------------------	-----------

Contoh :

- a. Trim awal = 400 cm by the Stern  
 Trim akhir = 100 cm by the Stern -  


---

 COT = 300 cm by the Head
- b. Trim awal = 400 cm by the Stern  
 Trim akhir = 700 cm by the Stern -  


---

 COT = 300 cm by the Head
- c. Trim awal = 400 cm by the Stern  
 Trim akhir = 100 cm by the Head +  


---

 COT = 500 cm by the Head
- d. Trim awal = 400 cm by the Stern  
 Trim akhir = 100 cm by the Stern +  


---

 COT = 500 cm by the Head

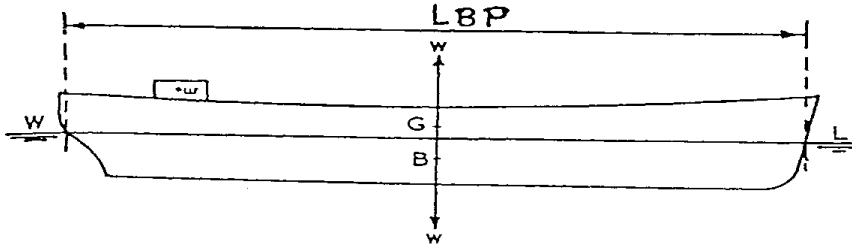
Dari contoh-contoh tersebut, maka :

COT = trim awal  $\pm$  trim akhir, jika trim awal dan trim akhir tidak senama menggunakan tanda (+) dan jika senama menggunakan tanda (-).

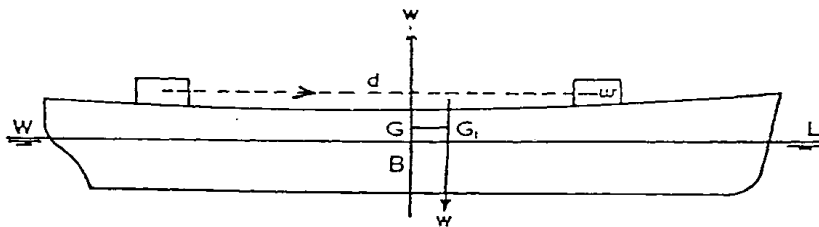
$COT = \frac{\text{Triming Moment}}{MCTC}$	..... 9.7
--	-----------

**Momen change trim 1 cm (MCTC = MCT 1 cm)**

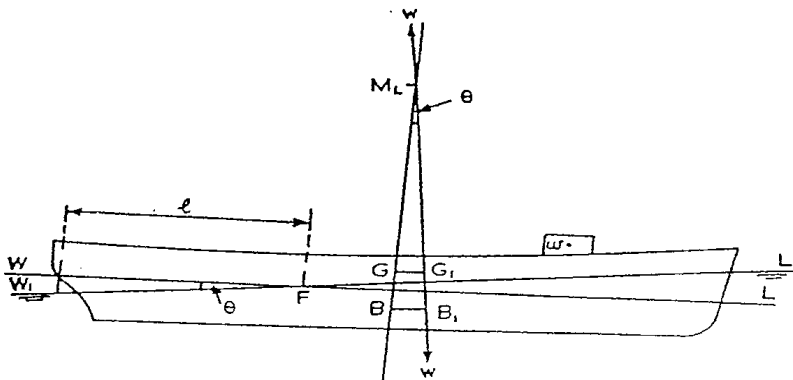
MCTC adalah momen yang diperlukan untuk merubah trim 1 cm. **Gb. 9.3 a. b. c**



**Gambar 9.3 Kapal Even Keel**



**Gambar 9.4 Bobot w Digeser Sejauh d Kedepan**



**Gambar 9.5 Draft Depan Membesar dan Draft Belakang Mengecil**

$$GG_1 = \frac{w \times d}{W} \quad \text{dan} \quad GG_1 = GM_L \tan \Phi$$

$$\begin{aligned} \tan \Phi &= \frac{w \times d}{W \times GM_L} \\ &= \frac{t}{L} \end{aligned}$$

Pada awalnya kapal even keel (Gb. 9.3) jadi trim = 0 kemudian bobot w digeser sejauh d meter ke depan (Gb. 9.4) sehingga draft depan membesar dan draft belakang mengecil, misalnya trim = t meter atau COT = t meter, maka:

$$GG_1 = \frac{w \times d}{W} \quad \text{dan} \quad GG_1 = GM_L \operatorname{tg} \Phi$$

atau

$$\operatorname{Tg} \Phi = \frac{w \times d}{W \times GM_L} \quad \text{Tetapi juga} \quad \operatorname{Tg} \Phi = \frac{\operatorname{cot}}{L}$$

Apabila perpindahan bobot sejauh d meter tersebut mengakibatkan perubahan trim 1 cm, maka dapat dikatakan bahwa :

$$\operatorname{COT} = 1 \text{ cm dan } w \cdot d = \operatorname{MCT} \times 1 \text{ cm}$$

$$\text{Sehingga } \operatorname{tg} \Phi = \frac{\operatorname{COT}}{L \text{ m}} = \frac{1 \text{ cm}}{100 L \text{ cm}} = \frac{1}{100 L}$$

Akan tetapi

$$\begin{aligned} \operatorname{Tg} \Phi &= \frac{w \times d}{W \times GM_L} = \frac{\operatorname{MCT} \times 1 \text{ cm}}{W \cdot GM_L} \\ &= \frac{1}{100 L} = \frac{\operatorname{MCT} \cdot 1 \text{ cm}}{w \cdot GM_L} \end{aligned}$$

$\text{Jadi } \operatorname{MCT} \cdot 1 \text{ cm} = \frac{w \times GM_L}{100 L}$	..... 9.8
--	-----------

Dari data-data tersebut dapat dibuktikan bahwa :

$\operatorname{COT} = \frac{GG_1 \times L}{GM_L}$	..... 9.9
---	-----------

**Keterangan :**

Trim = beda draft depan dan belakang (cm)

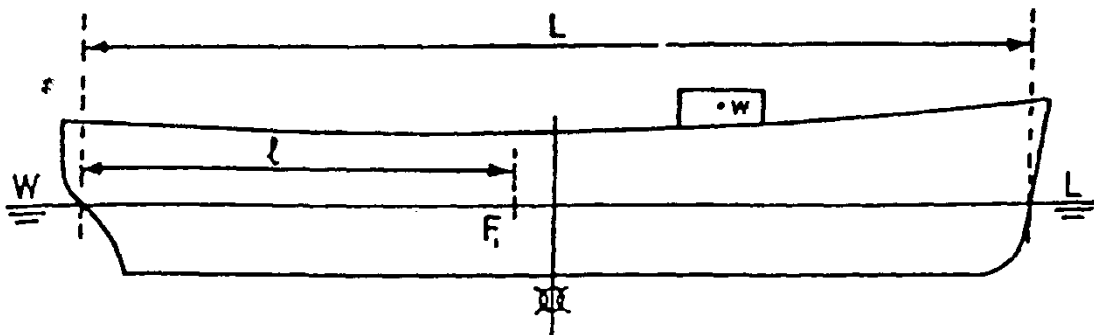
COT = perubahan trim awal dan trim akhir (cm)

L (LBP) = panjang kapal dalam (m)

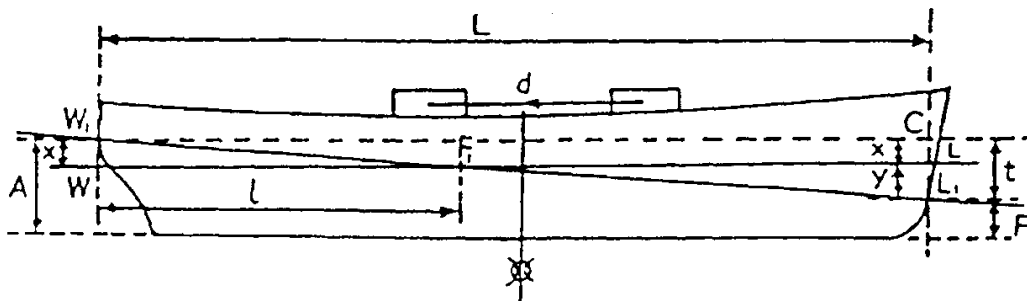
- I = jarak buritan ke Cof (m)
- MCTC = momen untuk merubah trim 1 cm (ton/cm)
- w = bobot yang digeser dalam (ton)
- d = jarak penggeseran (m)
- F = Cof = Tiping center = Center of Floatation (letaknya berimpit dengan midship jika kapal even keel)
- BB1 = perubahan draft belakang (cm)
- AB1 = perubahan draft belakang (cm)
- GM<sub>1</sub>/BM<sub>1</sub> = GM/BM kapal secara membujur (meter)

**Menentukan perubahan draft belakang dan depan**

Pada gambar 9.4 a. B LBP = L meter jarak buritan dengan Cof =  $\ell$  meter bobot w tones berada di atas dek garis air = WL kemudian bobot w digeser sejauh d meter. Dalam kondisi tersebut didapat A adalah New Draft Aft dan F adalah New Draft Forward dan trim baru = A - F.



**Gambar 9.6 Menentukan Perubahan Draft**



**Gambar 9.7 New Draft**

Pada segitiga  $WW_1F_1$  sebangun dengan segitiga  $L_1CW_1$  sehingga:

$$X \text{ cm} : l \text{ meter} = t \text{ cm} : L \text{ meter}$$

Atau

$$\boxed{X = \frac{l}{L} \times t} \dots\dots\dots 9.10$$

Sehingga

$$\boxed{Y = t - X} \dots\dots\dots 9.11$$

**Keterangan :**

X = perubahan draft belakang dalam cm

Y = perubahan draft depan dalam cm

t = change of trim dalam cm

**Contoh 1:**

A ship 126 m. Long is floating at drafts of 5,5 m. F and 6,5 m. A. The centre of floatation is 3 m. aft of amidships. MCT 1 cm = 240 tonnes-m. Displacement = 6,000 tonnes. Find the new drafts if a weight of 120 tonnes already on board is shifted forward a distance of 45 metres.

$$\begin{aligned} \text{Trimming moment} &= w \times d \\ &= 120 \times 45 \\ &= 5.400 \text{ tonnes-m. by the head} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of trim} &= \frac{\text{Trimming Moment}}{\text{MCT 1 cm}} \\ &= \frac{5.400}{240} \\ &= 22,5 \text{ cm. By the head} \end{aligned}$$

$$\text{Change of draft aft} = \frac{l}{L} \times \text{change of trim}$$

$$= \frac{60}{126} \times 22,5$$

$$= 10,7 \text{ cm}$$

Change of draft forward = Change of trim – Change of draft aft

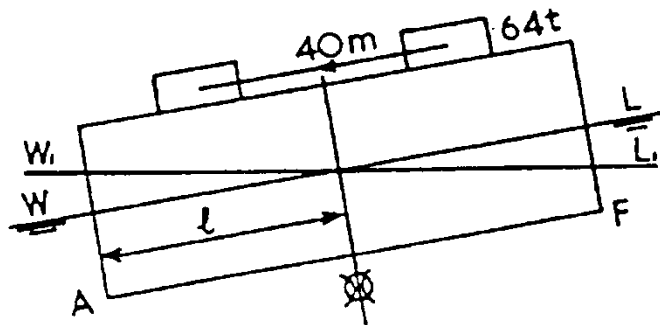
$$= 22,5 - 10,7 \text{ cm}$$

$$= 11,8 \text{ cm}$$

Original drafts	5,500 m. F	6,500 m. A
Change due to trim	0,118 m +	0,107 m -
Ans. New draft	<u>5,618 m. F</u>	<u>6,393 m. A</u>

**Contoh 2:**

A box shaped vessel 90 m x 10 m x 6 m. Floats in salt water on an even keel at 3m. draft F and A. Find the new drafts if a weight of 64 tonnes already on board is shifted a distance of 40 meters aft.



$$\text{BML} = \frac{L^2}{12 \times d}$$

$$= \frac{90 \times 90}{12 \times 3}$$

$$= 225 \text{ m}$$

$$W = L \times B \times d \times 1,025$$

$$= 90 \times 10 \times 3 \times 1,025$$

$$= 3767,5 \text{ tonnes}$$

$$\text{MCT 1 cm} = \frac{W \times GM_L}{100 L}$$

Since BG is small compared with  $GM_L$

$$\begin{aligned} \text{MCT 1 cm} &= \frac{W \times BM_L}{100 L} \\ &= \frac{2767,5 \times 225}{100 \times 90} \\ &= 69,19 \text{ tonnes-m} \end{aligned}$$

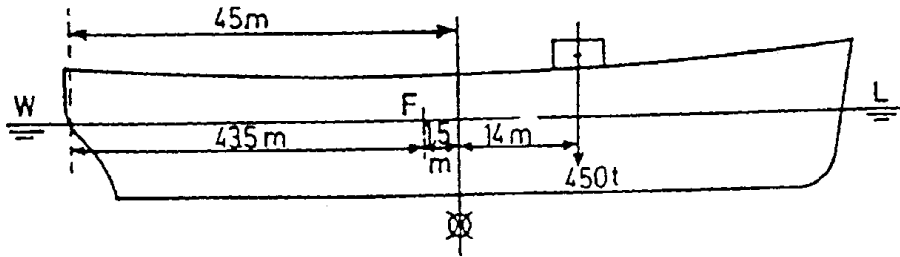
$$\begin{aligned} \text{Change of trim} &= \frac{w \times d}{\text{MCT 1 cm}} \\ &= \frac{64 \times 40}{69,19} \\ &= 37 \text{ cm. By the stern} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of draft aft} &= \frac{l}{L} \times \text{Change of trim} \\ &= \frac{1}{2} \times 37 \text{ cm} \\ &= 18,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Original drafts	3,000 m. F		3,000 m. A
Change due to trim	0,185 m	-	0,185 m +
Ans. New draft	<u>2,815 m. F</u>		<u>3,185 m. A</u>

### Contoh 3:

A ship 90 m. Long is floating at drafts 4,5 m. F and 5,0 m. A. The centre of floatation is 1,5 m m. aft amidships. TPC 10 tonnes. MCT 1 cm. 120 tonnes-m. find the new drafts if a total weight of 450 tonnes is loaded in position 14 m. forward of amidships.



$$\begin{aligned} \text{Bodily sinkage} &= \frac{w}{\text{TPC}} \\ &= \frac{450}{10} \\ &= 45 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of trim} &= \frac{\text{Trim moment}}{\text{MCT 1 cm}} \\ &= \frac{450 \times 15,5}{120} \\ &= 58,12 \text{ cm. By the head} \end{aligned}$$

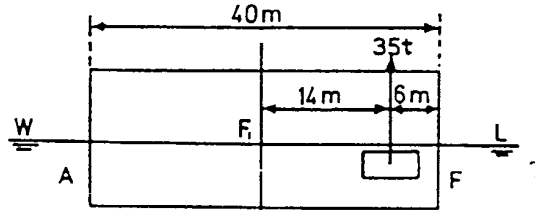
$$\begin{aligned} \text{Change of draft aft} &= \frac{l}{L} \times \text{Change of trim} \\ &= \frac{43,5}{90} \times 58,12 \\ &= 28,09 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of draft aft} &= \text{Change of trim} - \text{Change of draft aft} \\ \text{forward} &= \\ &= 58,12 - 28,09 \\ &= 30,03 \text{ cm} \end{aligned}$$

Original drafts	4,500 m. F		5,000 m. A
Bodily sinkage	0,450 m	+	0,450 m
	<hr/>		<hr/>
	4,950 m		5,450 m
Change due trim	0,300 m	+	0,281
	<hr/>		<hr/>
<i>Ans.</i> New draft	5,250 m. F		5,169 m. A

**Contoh 4:**

A box shaped vessel 40 m x 6 m x 3 m. Floats in salt water on an even keel at 2 m draft F and A. Find the new drafts if a weight of 35 tonnes is discharged from a position 6 m. from forward. MCT 1 cm = 8,4 tonnes-m.



$$\begin{aligned} \text{Bodily rise} &= \frac{w}{\text{TPC}} = \frac{w}{\dots} \\ &= \frac{35}{2,46} \\ &= 14,2 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of trim} &= \frac{w \times d}{\text{MCT 1 cm}} \\ &= \frac{35 \times 14}{8,4} \\ &= 58,3 \text{ cm. By the stern} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of draft aft} &= \frac{l}{L} \times \text{Change of trim} \\ &= \frac{1}{2} \times 58,3 \text{ cm} \\ &= 29,15 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of draft aft} &= \text{Change of trim} - \text{Change of draft aft} \\ \text{forward} &= \\ &= 58,3 - 29,15 \\ &= 29,15 \text{ cm} \end{aligned}$$

Original drafts	2,000 m. F	2,000 m. A
Bodily rise	0,140 m -	0,140 m -
	<hr/>	<hr/>
	1,860 m	1,860 m
Change due trim	0,290 m -	0,290 +
	<hr/>	<hr/>

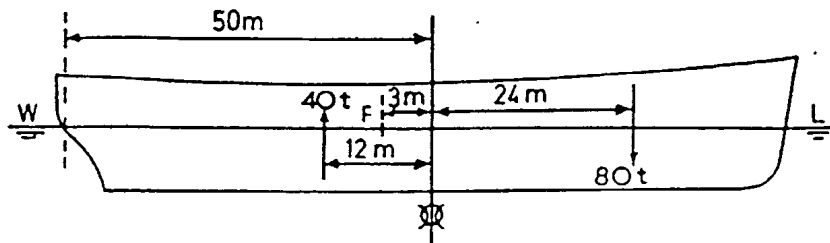
Ans. New draft

1,570 m. F

2,150 m. A

**Contoh 5:**

A ship 100 m. Long arrives in port with drafts 3 m. F and 4,3 m. A. TPC 10 tonnes. MCT 1 cm. 120 tonnes-m. the centre of floatation is 3 m. aft of amidships. If 80 tonnes of cargo is loaded in a position 24 m. forward of amidships and 40 tonnes of cargo is discharged from 12 m. aft amidships, what are the new drafts?



$$\begin{aligned}
 \text{Bodily sinkage} &= \frac{w}{\text{TPC}} \\
 &= \frac{40}{10} \\
 &= 4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

To Find the change of trim take moment about the centre of floatation.

Weight	Distance from C.F	Moment to change trim by	
		head	stern
80	27	2160	-
40	9	360	-
		2520	-

$$\text{Change of trim} = \frac{\text{Trim moment}}{\text{MCT 1 cm}}$$

$$= \frac{2.520}{120}$$

$$= 21 \text{ cm. By the head}$$

$$\text{Change of draft aft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of trim}$$

$$= \frac{47}{100} \times 21 \text{ cm}$$

$$= 9,87 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of draft aft} &= \text{Change of trim} - \text{Change of draft aft} \\ \text{forward} &= \\ &= 21 - 9,87 \\ &= 11,13 \text{ cm} \end{aligned}$$

Original drafts	3,000 m. F		4,300 m. A	
Bodily sinkage	0,040 m	+	0,040 m	+
	<hr/>		<hr/>	
	3,040 m		4,340 m	
Change due trim	0,111 m	+	0,099	-
<i>Ans.</i> New draft	<hr/>		<hr/>	
	3,151 m. F		4,241 m. A	

### Contoh 6:

A ship of 6.000 tonnes displacement has rafts 7 m. F and 8 m. A. MCT 1 cm 100 tonnes-m. TPC 20 tonnes, centre of floatation is amidships 500 tonnes of cargo is discharged from each of the following four holds :

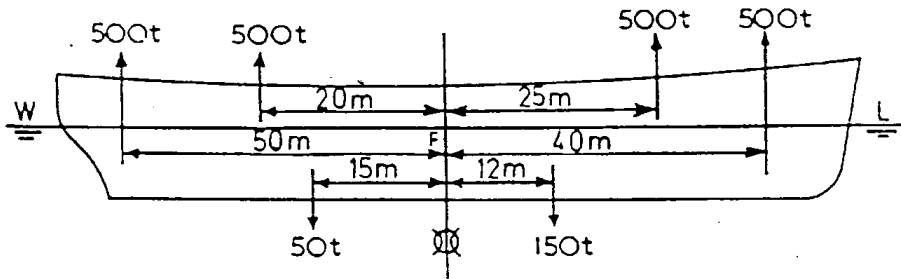
1. No. 1 hold, centre of gravity 40 m. forward of amidships
2. No. 2 hold, centre of gravity 25 m. forward of amidships
3. No. 3 hold, centre of gravity 20 m. aft of amidships
4. No. 4 hold, centre of gravity 50 m. aft of amidships

The following bunkers are also loaded:

1. 150 tonnes at 12 m. forward of amidships

2. 50 tonnes at 15 m. aft of amidships

Find the new drafts forward and aft.



Total cargo discharged = 2.000 tonnes

Total bunkers loaded = 200 tonnes -

Net weight discharged = 1.800 tonnes

$$\begin{aligned} \text{Bodily rise} &= \frac{w}{\text{TPC}} \\ &= \frac{1800}{20} \\ &= 90 \text{ cm} \end{aligned}$$

Weight	Distance from C.F	Moment to change trim by	
		head	stern
500	40	-	20000
500	25	-	12500
500	20	10000	-
500	50	25000	-
150	12	1800	750
50	15	-	-
		36800	33250
		33250	
		3550	

Resultant moment 3.550 tonnes-m. by the head

$$\begin{aligned}
\text{Change of trim} &= \frac{\text{Trim moment}}{\text{MCT 1 cm}} \\
&= \frac{3550}{100} \\
&= 35,5 \text{ cm. By the stern}
\end{aligned}$$

Since centre of floatation

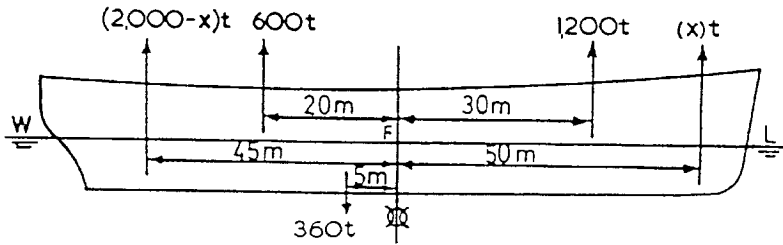
$$\begin{aligned}
\text{Change of draft aft} &= \text{Change of draft forward} \\
&= \frac{1}{2} \times \text{change of trim} \\
&= 17,75 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Original drafts	7,000 m.		8,000 m. A	
	F			
Bodily rise	0,900 m	-	0,900 m	-
	6,100 m		7,100 m	
Change due trim	0,180 m	-	0,180	+
<i>Ans.</i> New draft	6,280 m.		6,920 m. A	
	F			

**Contoh 7:**

A ship arrives in port trimmed 25 cm. by the stern. The centre of floatation amidships. MCT 1 cm. 100 tonnes-m. A. Total of 3.800 tonnes of cargo is to discharged from 4 holds, and 360 tonnes of bunkers loaded in No. 4 double bottom tank. 1.200 tonnes of the cargo is to discharged from No. 2 hold 600 tonnes from No. 3 hold. Find the amount to be discharged from No. 1 & 4 holds if the ship is to complete on an even keel.

1. Centre of gravity of No. 1 hold is 50 m. forward of the centre of floatation
2. Centre of gravity of No. 2 hold is 30 m. forward of the centre of floatation
3. Centre of gravity of No. 3 hold is 20 m. abaft of the centre of floatation
4. Centre of gravity of No. 4 hold is 45 m. abaft of the centre of floatation
5. Centre of gravity of No. 4 DB tank is 5 m. abaft of the centre of floatation



Total cargo to be discharged from 4 holds = 3.800 tonnes  
 Total cargo to be discharged from No. 2 and 3 = 1.800 tonnes -  
 Total cargo to be discharged from No. 1 and 5 = 2.000 tonnes  


---

 Let "x" tonnes of cargo be discharged from No. 1 hold  
 Let (2.000 - x) tonnes of cargo be discharged from No. 4 hold

Take moments about the centre of floatation.

Weight	Distance from C.F	Moment to change trim by	
		head	stern
x	50	-	50x
1.200	30	-	36.000
600	20	12.000	-
2.000 - x	45	90.000 - 45x	-
360	5	-	1.800
		102.000 - 45x	37.800 + 50 x

Original trim = 25 cm. by the stern  
 Required trim = 0  
 Change of trim required = 25 cm. by the head  
 Trimming moment = Change of trim x MCT 1 cm  
 required =  
 = 25 x 100  
 = 2.500 tonnes-m. by the head  
 Resultant moment = Moment to change trim by head - MCT by stern  
 = (102.000 - 45 x) - (37.800 + 50 x)  
 = 102.000 - 45 x - 37.800 - 50 x  
 = 64.200 - 95 x

$$95x = 61.700$$

$$x = 649,5 \text{ tonnes}$$

$$2.000 - x = 1.350,5 \text{ tonnes}$$

*Ans.* Discharge 649, 5 tonnes from No. 1 hold and 1.350,5 tonnes from No. 4 hold.

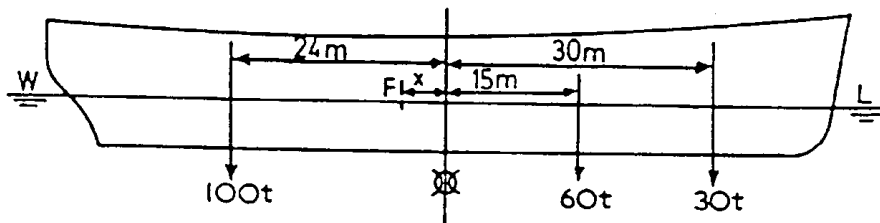
### Menggunakan trim untuk mengetahui letak Cof.

#### Contoh :

A ship arrives in port floating at drafts of 4.50 m. A and 3.80 m. F. The following cargo is then loaded:

1. 100 tonnes in a position 24 m. aft of amidships
2. 30 tonnes in a position 30 m. forward of amidships
3. 60 tonnes in a position 15 m. forward of amidships

The drafts are then found to be 5.10m. A and 4.40 m. F. Find teh position of the longitudinal centre of floatation relative to amidships.



Original drafts 4.50 m. A 3.80 m. F give 0.70 m. trim by the stern. New drafts 5.10 m. A 4.40 m. F give 0.70 m. trim by the stern. Therefore there has been no change in trim, or, the moment to change trim by the head = The moment to change trim by the stern.

Let the centre of floatation be “x” metres aft of amidships

$$100(24 - x) = 30(30 + x) + 60(15 + x)$$

$$2,400 - 100x = 900 + 30x + 900 + 60x$$

$$190x = 600$$

$$x = 3.16$$

*Ans.* Centre of floatation is 3.16 metres aft of amidships

*Note.* In this type of question it is usual to assume that the centre of floatation aft of amidships, but this may not be the case. Had it been assumed the centre of floatation was aft of amidships when in actual fact it was forward the answer obtained would have been minus.

### Memuat untuk Mendapatkan Draft Belakang Tetap

Apabila kita sedang berada di pelabuhan sungai dan akan melalui alur yang dangkal, sedangkan kita harus masih memuat  $w$  ton. Bagaimana caranya agar  $w$  ton dapat dimuat dan draft belakang tidak berubah. Misalkan  $w$  ton dimuat tepat pada Cof) maka draft depan dan belakang akan membesar. Selanjutnya jika beban tersebut digeser ke depan, maka akan terjadi perubahan trim ke depan. Agar draft belakang tetap maka perubahan trim ke belakang atau perubahan draft belakang harus = jumlah beban tersebut dibagi dengan TPC, sehingga:

$$\frac{1}{L} \times COT = \frac{w}{TPC}$$

$$\frac{1}{L} \times \frac{w \times d}{MCTC} = \frac{w}{TPC}$$

$$d = \frac{L \cdot MCTC}{1 \cdot TPC}$$

$\text{Jadi } d = \frac{L}{l} \times \frac{MCTC}{TPC}$
--

$d$  = jarak  $w$  dengan Cof dimana  $w$  di depan Cof ( dalam m)

### Contoh :

A box-shaped vessel 60 m. long, 10 m. beam, and 6 m. deep, is floating in salt water at drafts 4 m. F and 4-4 m. A. Find how far forward of amidships a weight of 30 tonnes must be loaded if the draft aft is to remain at 4-4 m.

$$\begin{aligned} TPC &= \frac{1,025 A}{100} \\ &= \frac{1,025 A}{100} \end{aligned}$$

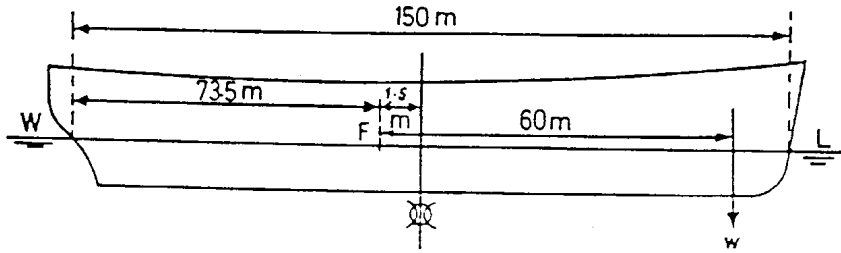
$$\begin{aligned}
&= 6.15 \text{ tonnes} \\
W &= L \times B \times d \times 1,025 \text{ tonnes} \\
&= 60 \times 10 \times 4.2 \times 1,025 \\
&= 2583 \text{ tonnes} \\
BM_L &= \frac{L^2}{12 \times d} \\
&= \frac{60 \times 60}{12 \times 4.2} \\
&= \frac{500}{7} \text{ metres} \\
MCT 1 \text{ cm} &= \frac{W \times BM_L}{100 \times L} \\
&= \frac{2583 \times 500}{100 \times 60 \times 7} \\
MCT 1 \text{ cm} &= \frac{123}{4} \text{ tonnes-metres} \\
d &= \frac{L \times MCT 1 \text{ cm}}{1 \times TPC} \\
&= \frac{60 \times 123 \times 1}{30 \times 4 \times 6.15} \\
&= 10 \text{ metres}
\end{aligned}$$

*Ans.* Load the weight 10 metres forward of amidships.

### **Memuat untuk Mendapatkan Draft yang Diinginkan**

#### **Contoh :**

A ship 150 metres long arrives at the mouth of a river with drafts 5.5 m. F and 6.3 m. A. t MCT 1 cm. 200 tonnes-m. TPC 15 tonnes. Centre of floatation is 1.5 m. aft of amidships. The ship has then to proceed up the river where the maximum draft permissible is 6.2 m. It is decided that SW ballast will be run into the forepeak tank to reduce the draft aft to 6.2 m.



If the centre of gravity of the forepeak tank is 60 m forward of the centre of flotation, find the minimum amount of water which must be run in and also find the final draft forward.

a. Load “w” tonnes at the centre of flotation

$$\begin{aligned} \text{Bodily sinkage} &= \frac{w}{\text{TPC}} \\ &= \frac{w}{15} \text{ cm} \\ \text{New draft aft} &= 6.3 \text{ m} + \frac{w}{15} \text{ cm} \\ \text{Required draft aft} &= 6.2 \text{ m} \\ \text{Reduction required} &= 0.1 \text{ m} + \frac{w}{15} \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of trim} &= \frac{w \times d}{\text{MCT 1 cm}} \\ &= \frac{60 w}{200} \\ &= \frac{3 w}{10} \text{ cm. by the head} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of draft aft due to trim} &= \frac{l}{L} \times \text{Change of trim} \\ &= \frac{73.5 \times 3w}{150 \times 10} \\ &= 0.147 w \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$\text{But Change of draft required aft} = 10 + \frac{w}{15} \text{ cm.}$$

$$0.417w = 10 + \frac{w}{15}$$

$$\begin{aligned}
 2.205w &= 150 + w \\
 &= 124.5 \text{ tonnes}
 \end{aligned}$$

Therefore by loading 124.5 tonnes in the forepeak tank the draft aft will be reduced to 6.2 metres.

b. Find the new draft forward

$$\begin{aligned}
 \text{Bodily sinkage} &= \frac{w}{\text{TPC}} \\
 &= \frac{124.5}{15} \\
 &= 8.3 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Change of trim} &= \frac{w \times d}{\text{MCT 1 cm}} \\
 &= \frac{124.5 \times 60}{200} \\
 &= 37.35 \text{ cm. by the head}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Change of draft aft due to trim} &= \frac{l}{L} \times \text{Change of trim} \\
 &= \frac{73.5 \times 37.35}{150} \\
 &= 18.3
 \end{aligned}$$

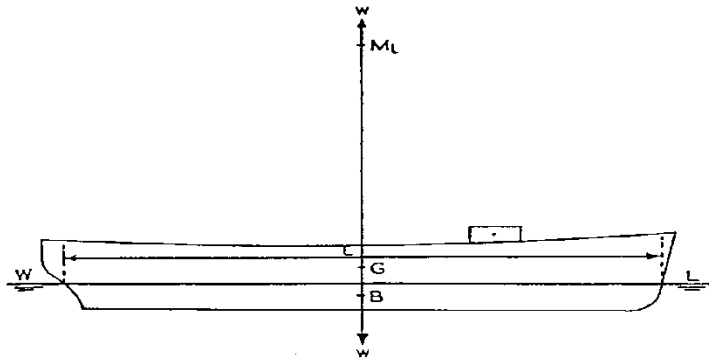
$$\begin{aligned}
 \text{Change of draft forward due to trim} &= \text{Change of trim} - \text{Change of draft aft} \\
 &= 37.5 - 18.3 \text{ cm} \\
 &= 19.05 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Original drafts	5.500 m. F		6.300 m. A
Bodily sinkage	0.080 m	+	0.080 m
	5.580 m		6.380 m
Change due trim	0,190 m	+	0,180 m
New draft	5.770 m. F		6.200 m. A

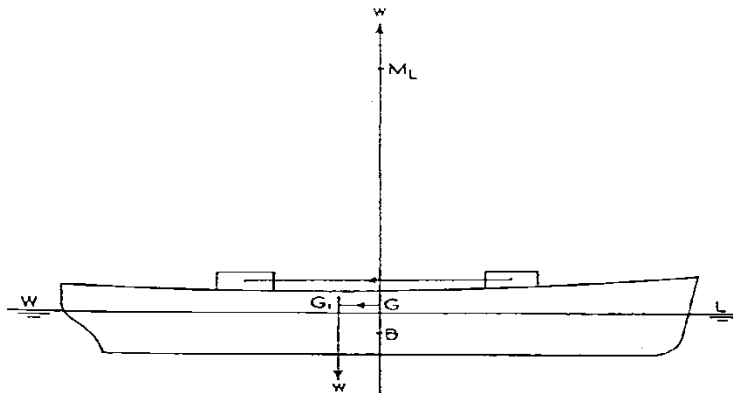
*Ans.* Load 124.5 tonnes in forepeak tank. Final draft forward is 5.770 metres.

### Menggunakan COT untuk Mendapatkan $GM_L$

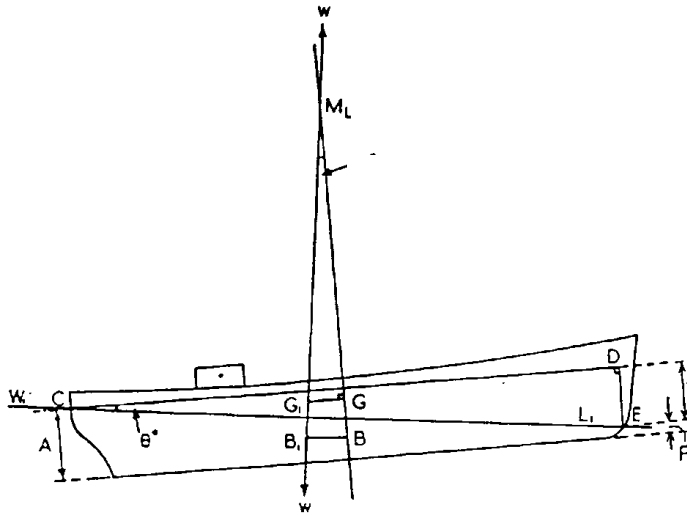
It was shown in Section 3 of this chapter that, when a weight is shifted longitudinally within a ship, it will cause a change of trim. It will now be shown how this effect may be used to determine the longitudinal metacentric height. Consider figure 9.7 which represents a ship of length “L” at the waterline floating upright on an even keel with a weight on deck forward. The centre of gravity is at G, the centre of buoyancy at B, and the longitudinal metacentre at  $M_L$ . The longitudinal metacentric height is therefore  $GM_L$ .



**Gambar 9.8 Ketinggian Metasentrik**



**Gambar 9.9 Berat Badan Digeser secara Horizontal**



**Gambar 9.10 Kapal melakukan Trim**

Now let the weight be shifted aft horizontally as shown in figure 9.8. The ship's centre of gravity will also shift horizontally, from G to G<sub>1</sub> producing a trimming moment of W x GG<sub>1</sub> by the stern.

The ship will now trim to bring G<sub>1</sub> under M<sub>L</sub> as shown in figure 9.9. In figure 9.9 W<sub>1</sub>L<sub>1</sub> represents the new waterline, F the new draft forward and A the new draft aft. It was shown in figure 8.7 (b) and by the associated notes, that F - A is equal to the new trim (t) and since the ship was originally on an even keel, then "t" must also be equal to the change of trim.

If the angle between the new and old verticals is equal to Φ, then the angle between the new and old horizontals must also be equal to Φ (the angle between two straight lines being equal to the angle between their normals).

It will also be seen in figure 9.6 (c) that the triangles GG<sub>1</sub> M<sub>L</sub> and CDE are similar triangles.

$$\frac{GM_L}{GG_1} = \frac{L}{t} = \frac{L}{t}$$

$$GM_L = \frac{L}{t} \times GG_1$$

(all measurement are in metres)

**Contoh 1:**

When a weight is shifted aft in a ship 120 metres long, it causes the ship's centre of gravity to move 0.2 metres horizontally and the trim to change by 0.15 metres. Find the longitudinal metacentric height.

$$\begin{aligned} \frac{GM_L}{GG_1} &= \frac{L}{t} \\ GM_L &= \frac{L}{t} \times GG_1 \\ &= \frac{120 \times 0.2}{0.15} \\ &= 160 \text{ metres} \end{aligned}$$

**Contoh 2:**

A ship 150 metres long has a displacement of 7,200 tonnes and is floating upright on an even keel. When a weight of 60 tonnes, already on board, is shifted 24 metres forward, the trim is changed by 0.15 metres. Find the longitudinal metacentric height.

$$\begin{aligned} \frac{GM_L}{GG_1} &= \frac{L}{t} \\ GM_L &= \frac{L}{t} \times GG_1 \\ &= \frac{w \times d}{W} \times \frac{L}{t} \\ &= \frac{60 \times 24}{7,200} \times \frac{150}{0.15} \\ &= 200 \text{ metres} \end{aligned}$$

**Latihan :**

A ship of 8,500 tonnes displacement has TPC 10 tonnes, MCT 1 crn = 100 tonnes-m and the centre of flotation is amidships. She is completing loading under coal tips. No.2 and 3 holds are full, but space is available in No. 1 hold (centre of gravity 50 m. forward of amidships), and in No. 4 hold (centre of gravity 45 m. aft of amidships). The present drafts are 6.5 m. F and 7 m. A, and the load draft is 7.1 m. Find how much

cargo is to be loaded in each of the end holds so as to put the ship down to the load draft and complete loading on an even keel

### Hubungan antara trim dan list

Apabila kita dihadapkan dua masalah yaitu trim dan kemiringan kapal maka penyelesaian masalah harus satu persatu diselesaikan, penyelesaian masalah pertama adalah trim dan penyelesaian berikutnya adalah masalah list.

### Contoh 1:

ship of 6,000 tonnes displacement has  $KM = 7 \text{ m.}$ ,  $KG = 6.4 \text{ m.}$ , and  $MCT 1 \text{ cm.} = 120 \text{ tonnes-m.}$  The ship is listed 5 degrees to starboard and trimmed 15 m. by the head. The ship is to be brought upright and trimmed 0.3 m. by the stern by transferring oil from No. 2 double bottom tank to No. 5 double bottom tank. Both tanks are divided at the centre line and their centres of gravity are 6 m. out from the centre line. No. 2 holds 200 tonnes of oil on each side and is full. No.5 holds 120 tonnes on each side and is empty. The centre of gravity of No.2 is 23.5 m. forward of amidships and No.5 is 21.5 m. aft of amidships. Find what transfer of oil must take place and give the final distribution the oil. (Neglect the effect of free surface on the GM.)

a. To bring the ship to the required trim

Present trim = 0.15 m. by the head

Required trim = 0.30. by the stern

Change of trim = 0.45m. by the stern

= 45 cm. by the stern

Trim moment = Change of trim x MCT 1 cm

=  $45 \times 120$

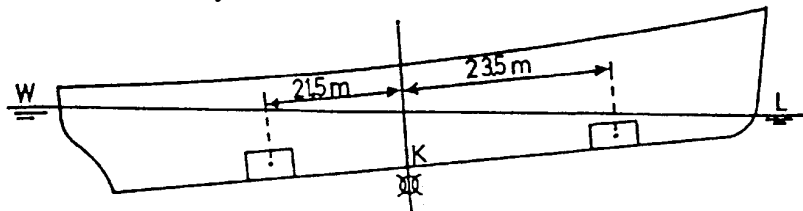
Trim moment = 5,400 tonnes-m. by the stern

T 'w' tonnes of oil be transferred aft to produce thhe required trim.

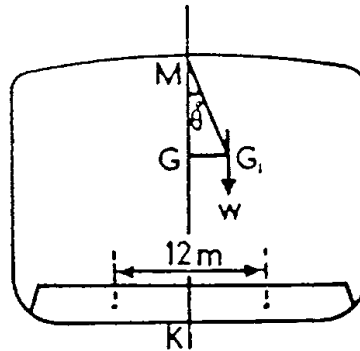
Combined List and Trim

$$\begin{aligned}
 \text{Trim moment} &= W \times d \\
 &= 45w \text{ tonnes-m} \\
 45w &= 5,400 \\
 w &= 120 \text{ tonnes}
 \end{aligned}$$

From this it will be seen that, if 120 tonnes of oil is transferred aft, the ship will then trim 0.30m, by the stern.



b. To bring the ship upright



$$\begin{aligned}
 KM &= 7.0 \text{ m} \\
 KG &= 6.4 \text{ m} \\
 GM &= 0.6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

In triangle  $GG_1M_1$

$$\begin{aligned}
 GG_1 &= GM \times \text{tg } \Phi \\
 &= 0.6 \times \text{tg } 5^\circ \\
 &= 0.0525 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Combined List and Trim

$$\begin{aligned}
 \text{Moment to port} &= X \times d \\
 &= 12x \text{ tonnes-m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Initial moment to starboard} &= W \times GG_1 \\
 &= 6000 \times 0.0525 \\
 &= 315 \text{ tonnes-m}
 \end{aligned}$$

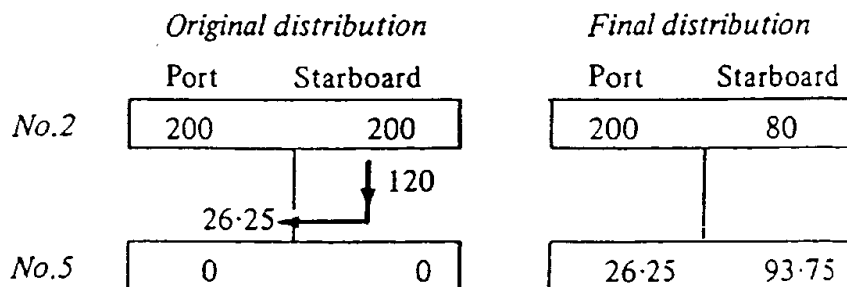
But if the ship is to complete the operation upright:

$$\begin{aligned}
 \text{Moment to starboard} &= \text{Moment to port} \\
 315 &= 12x \\
 x &= 26.25 \text{ tonnes}
 \end{aligned}$$

The ship will therefore be brought upright by transferring 26.25 tonnes from starboard to port.

From this it can be seen that, to bring the ship to the required trim and upright, 120 tonnes of oil must be transferred from forward to aft and 26.25 tonnes from starboard to port. This result can be obtained by taking 120 tonnes from No. 2 starboard and by putting 93.75 tonnes of this oil in No. 5 starboard and the remaining 26.25 tonnes in No. 5 Port tank.

The distributions would then be as follows :



*Note.* There are, of course, alternative methods by which this result could have been obtained, but in each case a total of 120 tonnes of oil must be transferred aft and 26.25 tonnes must be transferred from starboard to port.

## Perhitungan trim dengan metode LCG

Perhitungan trim dengan metode longitudinal center of gravity ini sangat teliti karena :

- a. tidak menggunakan TPC rata
- b. tidak menggtmakan COT
- c. dapat digunakan untuk memuat yang banyak variabel
- d. diperlukan data - datapada HCD ( hydrostatis curve diagram)

## Contoh

Sebuah kapal pnjang 133 m mengapung dengan drafl depan 216 cm draft belakang 386 cm akan memuat sebagai berikut :

- a. Memuat rnuatan A = 90 ton dengan titik knot 129,8 m dari AP
- b. Memuat muatan B = 1150 ton dengan titik knot 118,2 m dari AP
- c. Memuat muatan C = 260 ton dengan titik knot 1 14,3 m dari AP
- d. Memuat muatan D = 1420 ton dengan titik knot 100,6 m dari AP
- e. Memuat muatan E = 165 ton dengan titik knot 100 m dari AP
- f. Memuat muatan F = 1810 ton dengan titik knot 82,3 m dari AP
- g. Memuat muatan G = 430 ton dengan titik knot 81,6 m dari AP
- h. Memuat muatan H = 95 ton dengan titik knot 52,7 m dari AP
- i. Memuat muatan I= 128 ton dengan titik knot 72 m dari AP
- j. Memuat muatan J = 1515 ton dengan titik knot 42 m dari AP
- k. Memuat muatan K =150 ton dengan titik knot 64,6 m dari AP
- l. Memuat muatan L =52 ton dengan titik knot 57 m dari AP
- m. Memuat muatan M = 328 ton dengan titik knot 43,6 m dari AP
- n. Memuat muatan N = 674 ton dengan titik knot 47,8 m dari AP
- o. Memuat muatan O = 450 ton dengan titik knot 35,7 m dari AP
- p. Mernuat muatan P = 1080 ton dengan titik knot 20,7 m dari AP
- q. Memuat muatan Q = 394 ton dengan titik knot 23,7 m dari AP
- r. Memuat muatan R = 110 ton dengan titik knot 68 m dari AP

Hitunglah final draft dengan cara LCG!

**Jawab:**

$$\text{Mean draft awal} = \frac{216+386}{2} = 301 \text{ cm} = 3,01 \text{ m}$$

Dengan draft ini lihat HCD didapat:

$$\text{Displacement} = 4.550 \text{ ton}$$

$$\text{MCTC} = 2.083 \text{ ton}$$

$$\text{LCB} = 1,77 \text{ m di depan amidship}$$

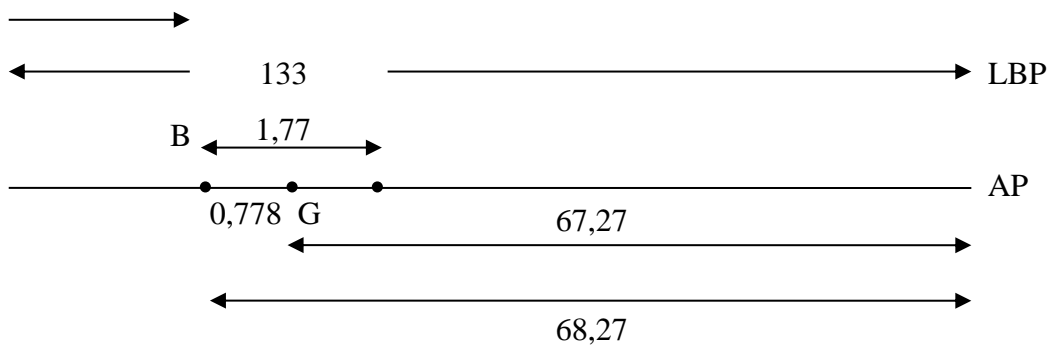
$$\text{Trim awal} = 3,86 - 2,16 \text{ m} = 1,7 \text{ m. by aft, maka G di belakang B}$$

$$\text{Triming Arm (BG)} = \frac{\text{Trim} \times \text{MCTC}}{W} = \frac{1,7 \times 2083}{4550} = 0,778 \text{ m}$$

$$\text{Rak B dari AP} = \frac{133}{2} + 1,77 = 68,270 \text{ m}$$

$$\text{Rak G dari AP} = 67,492 \text{ m}$$

Lihat gambar:



No.	Item	W	AP - G	Momen from AP
0	W	4450	67,492	307088,6
1.	A	90	129,8	1168,2
2.	B	1150	118,2	135930,0
3.	C	260	114,3	29718,0

4.	D	1420	100,6	142852,0
5.	E	165	100	15600,0
6.	F	1810	82,3	14896,3
7.	G	430	81,6	35088,0
8.	H	95	52,7	5006,5
9.	I	128	72	9216,0
10.	J	1515	42	63630,0
11.	K	150	64,6	9690,0
12.	L	52	57	2964,0
13.	M	328	43,6	14300,8
14.	N	674	47,8	32217,2
15.	O	450	35,7	16065,0
16.	P	1080	20,7	22356,0
17.	Q	394	23,7	9337,8
18.	R	110	68	7480,0
		11014851	AP - G	872504,4

Final displacement = 14851 ton

HCD didapat:

$$\text{Mean draft} = 8,46 \text{ m}$$

$$\text{MCTC} = 3.176 \text{ ton}$$

$$\text{LCB} = 1,38 \text{ m di depan O}$$

$$\text{Final AP-G} = \frac{872504,4}{14851} = 58,75 \text{ m}$$

$$\text{Final AP - B} = \frac{133}{2} + 1,38 = 71,50 \text{ m}$$

$$\text{Triming Arm (BG)} = 12,75$$

B di depan G, jadi trim by aft

$$\begin{aligned} \text{COT} &= \frac{w \times d}{\text{MCTC}} = \frac{\text{Triming Arm} \times W}{\text{MCTC}} = \frac{12,75 \times 14851}{3176} \\ &= 59,62 \text{ cm} = 0,5962 \text{ m} \end{aligned}$$

F                      Aft

Final mean draft	=	8,46 m	8,46 m
Hal trim = $\frac{59,12}{2}$	=	0,298 m	0,298
Jadi final draft	=	8,162	8,758

***Trim Correction***

Apabila trim > 1 % x LBP maka harus diberlakukan koreksi B. Untuk semua trim tidak tergantung trim akhir juga dikoreksi dengan koreksi A untuk mendapatkan displacement yang sebenarnya.

$$\text{Koreksi A} = \frac{100 \times \text{Trim} \times \text{Jarak Cof dari O} \times \text{TPC}}{\text{LBP}}$$

$$\text{Koreksi B} = \frac{50 \times \text{Trim}^2 \times (dm/dz)}{\text{LBP}}$$

Catatan :

- a. Trim dalam cm
- b. Cof O dalam m
- c. LBP dalam m
- d. dm/dz adalah selisih MCTC untuk 0,5 m di atas M/M/M dan di bawah M/M/M

**Contoh :**

Hitunglah trim displacement sebuah kapal yang LBP-nya 114 m yang mengapung di air, berat jenisnya 1,008 bila diketahui mean draft forward 6,4 m dan mean draft. Aft = 9,1 m dan mean ship = 7,92. }

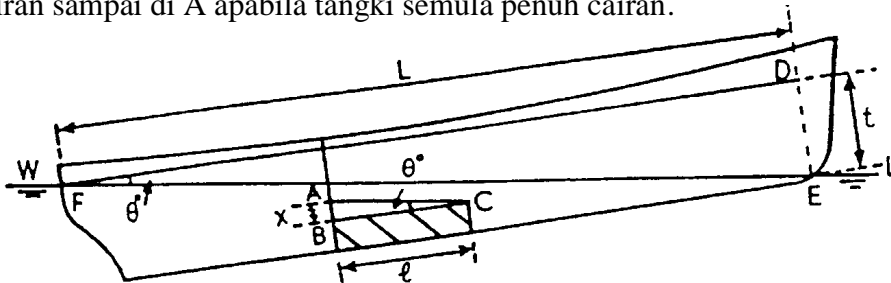
**Jawab :**

Mean draft Fwd	=	6,4 m	} Trim 2,7 m. aft = 71,34 maka W harus dikoreksi A dan B
Mean draft At	=	9,1 m	

Mean draft	=	7,75
Mean O	=	7,92
M / M	=	7,83
Mean O	=	7,92
M / M/ M	=	7,875 → form HCD didapat
Cof	=	0,36 di depan O
W	=	13560
TPC	=	127
M / M/ M + 0,5	=	8,375
M / M/ M - 0,5	=	7,375
dm/dz	=	1,0 m
A Corr	=	$\frac{100 \times \text{Trim} \times \text{dist} / \text{Cof} \times \text{TPC}}{134}$
B Corr	=	$\frac{50 \times \text{dm/dz} \times \text{Trim}^2}{\text{LBP}}$
	=	$\frac{50 \times 1 \times (2,7)^2}{134}$
	=	364,5
		13560
<i>Displacement from HCD</i>	=	
Corr A	=	97,2 (-)
Corr B	=	364,5 (+) (selalu)
Displacement Corr for trim	=	13827,3
Displacement Corr for $\delta$	=	$\frac{\delta \text{ payau}}{\delta \text{ air laut}} \times W$
	=	$\frac{1000}{1025} \times 13827,3$
	=	13597,9 tonnes

## Pengaruh Trim terhadap Sounding Tangki-Tangki

Pipa sounding tangki pada umumnya terletak di bagian belakang tangki, sehingga hasil soundingan kurang akurat karena yang disounding bagian belakang safe, terutama pada saat kapal trim ke belakang. Perhatikan Gb.9.10 pada saat kapal even keel, batas atas cairan hanya sampai di B akan tetapi jika ada trim, batas atas cairan sampai di A apabila tangki semula penuh cairan.



**Gambar 9.11 Pengaruh Trim terhadap Sounding Tangki**

Pada segitiga ABC adalah sebangun dengan segitiga DEF. Dengan menggunakan sifat segitiga, berlaku rumus:

$$X : l = t : L$$

Atau

$$X = \frac{t \times l}{L}$$

Sehingga tinggi sounding yang sebenarnya adalah  $X +$  tinggi sounding semula jika tangki penuh atau  $X +$  tinggi tangki

### Keterangan :

- X = sisi atas cairan dalam tangki jika tangki penuh (meter)
- l = panjang tangki (meter)
- t = trim (meter)
- L = LBP (meter)

**Contoh 1:**

A ship 100 m. long is trimmed 1.5 m. by the stern. A double bottom tank 12 m x 10 m. x 1.5 m. has the sounding pipe at the after end. Find the sounding which will indicate that the tank is full.

**Effect of Trim on Tank Sounding**

$$\frac{\text{Head}}{l} = \frac{\text{Trim}}{L}$$

$$\text{Head when full} = \frac{1.5 \times 1.2}{100}$$

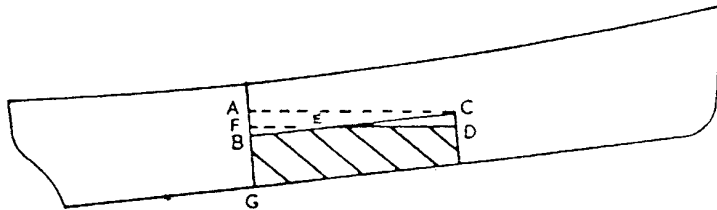
$$= 0.18 \text{ m}$$

$$\text{Depth of tank} = 1.50 \text{ m}$$

$$\text{Ans. Sounding when full} = 1.68 \text{ m}$$

**Contoh 2:**

A ship 100 m. long is trimmed 2 m. by the stern. A double bottom tank 15 m x 20 m x 1.5 m, which has the sounding pipe situated at the after end, is being filled with fuel oil of relative density 0.8. The present tank sounding is 16 m. Find the sounding when the tank is full, and also how much more oil is required to fill the tank.



In figure 13.3, the right angle triangles ABC, CDE, and BEF are similar. BG = 1.5 m. FG = the present sounding (1.6 m)

$$\frac{\text{Head}}{l} = \frac{\text{Trim}}{L}$$

$$\text{Head} = \frac{2 \times 15}{100}$$

$$\text{Head of oil full} = 0.30 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\text{The sounding when full} &= 1.80 \text{ m. (AG)} \\
\text{CD} &= \text{AF} \\
&= \text{AG} - \text{GF} \\
&= 1,8 - 1,6 \\
&= 0,20 \text{ m}
\end{aligned}$$

Effect of Trim on Tank Soundings

In triangles CED and ABC:

$$\begin{aligned}
\frac{\text{CE}}{\text{CD}} &= \frac{\text{BC}}{\text{AB}} \\
\text{CE} &= \frac{\text{CD} \times \text{BC}}{\text{AB}} \\
&= \frac{0.20}{0.30} \times 15 \\
&= 10 \text{ metres}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Volume of oil yet required} &= \text{Area triangle CED} \times \text{Breadth of tank} \\
&= \frac{1}{2} \times \text{CE} \times \text{CD} \times 20 \\
&= \frac{1}{2} \times 10 \times 0.20 \times 20 \\
&= 20 \text{ Cu. M}
\end{aligned}$$

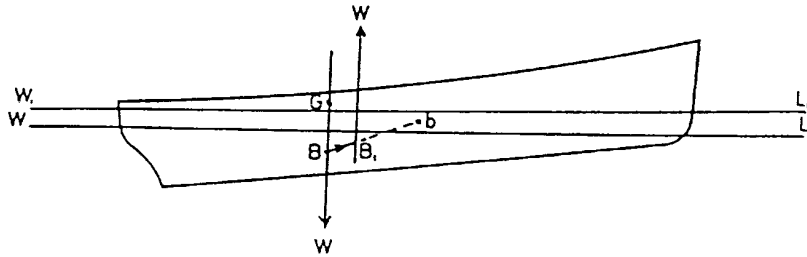
$$\begin{aligned}
\text{Mass of oil required} &= \text{Volume} \times \text{density} \\
&= 20 \times 0.8 \\
&= 16 \text{ tonnes}
\end{aligned}$$

$$\text{Ans. Sounding when full} = 1.8 \text{ m}$$

$$\text{Oil yet required} = 16 \text{ tonnes}$$

### **Pengaruh Perubahan Berat Jenis terhadap Draft dan Trim**

Apabila kapal berlayar dari suatu daerah ke daerah yang lain yang berat jenis cairannya berbeda, maka akan mengalami perubahan mean draft dan jika trimnya besar, maka posisi titik B juga akan mengalami perubahan.



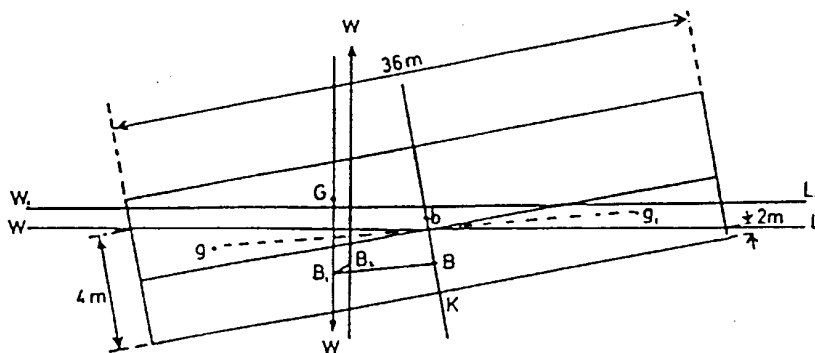
**Gambar 9.12 Pengaruh Perubahan Berat Jenis terhadap Draft dan Trim**

Semula kapal mempunyai garis air WL pada saat kapal mengapung di air laut yang berat jenisnya 1,025 dengan titik G dan titik B terletak pada satu garis vertikal. Kemudian kapal masuk ke perairan yang berat jenisnya 1.000 dengan garis air  $W_1L_1$

Misalkan titik berat caairan yang dipindahkan adalah  $b$ , maka titik B akan bergerak ke arah  $b$ , misalkan sampai di titik  $B_1$  maka titik apung sekarang bekerja vertikal ke atas melalui titik  $B_1$ , dan titik berat kapal bekerja ke bawah melalui titik G, karena pada proses ini titik G tidak mengalami perubahan, akibatnya akan terjadi trimming moment yang besarnya sama dengan displacement  $\times BB_1$  (Dalam pengertian ini kita menganggap bahwa displacement tidak mengalami perubahan)

**Contoh :**

A box-shaped pontoon is 36 metres long, 4 metres wide and floats in salt water at drafts F 2.00 m. A 4.00 m. Find the new drafts if the pontoon now passes into fresh water.



C.

a. To Find the Position of B<sub>1</sub>

$$\begin{aligned}
 BB_1 &= \frac{v \times GG_1}{V} \\
 v &= \frac{1}{2} \times 1 \times \frac{36}{2} \times 4 \\
 &= 36 \text{ cu. M} \\
 GG_1 &= \frac{2}{3} \times 36 \\
 &= 24 \text{ m} \\
 V &= 36 \times 4 \times 3 \\
 &= 432 \text{ cu. M} \\
 BB_1 &= \frac{36 \times 24}{432} \\
 &= 2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Because the angle of trim is small, BB<sub>1</sub> is considered to be the horizontal component of the shift of the centre of buoyancy.

Now let the pontoon enter fresh water.

b. To Find the New Draft

$$\begin{aligned}
 (\text{In salt water}) \quad \text{Mass} &= \text{Volume} \times \text{Density} \\
 &= 36 \times 4 \times 3 \times 1025 \text{ Kgs}
 \end{aligned}$$

$$(\text{In Fresh Water}) \quad \text{Mass} = \text{Volume} \times \text{Density}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= \frac{\text{Mass}}{\text{Density}} \\
 &= \frac{36 \times 4 \times 3 \times 1025}{1000} \text{ cu. m}
 \end{aligned}$$

(Mass in salt water = Mass in fresh water)

$$\text{Volume in F.W} = 442.8 \text{ cu. m}$$

$$\text{Volume in S.W} = 432.0 \text{ cu. m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Volume added} &= 10.8 \text{ cu. M} \\
\text{Increase in draft} &= \frac{\text{Volume of Layer}}{L \times B} \\
&= \frac{10.8}{36 \times 4} \\
&= 0.075 \text{ m} \\
\text{Original mean draft} &= 3.000 \text{ m} \\
\text{New mean draft} &= 3.075 \text{ m}
\end{aligned}$$

c. Find the Change of Trim

Let  $B_1B_2$  be the horizontal component of the shift of the centre of buoyancy.

$$\begin{aligned}
\text{Then } B_1B_2 &= \frac{v \times d}{V} \\
&= \frac{10.8 \times 2}{442.8} \\
&= 0.0487 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Trimming Moment} &= W \times B_1B_2 \\
&= 36 \times 4 \times 3 \times \frac{1,025}{1,000} \text{ tonnes} \times 0.0487 \text{ metres}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
BM_L &= \frac{L^2}{12 \times d} \\
&= \frac{36^2}{12 \times 3.075} \\
&= \frac{36}{1,025} \text{ metres}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{MCTC} &= \frac{W \times BM_L}{100 \times L} \\
&= \frac{36 \times 4 \times 3}{100 \times 36} \times \frac{1,025}{1,000} \times \frac{36}{1,025} \\
&= 4.25 \text{ tonnes-metres}
\end{aligned}$$

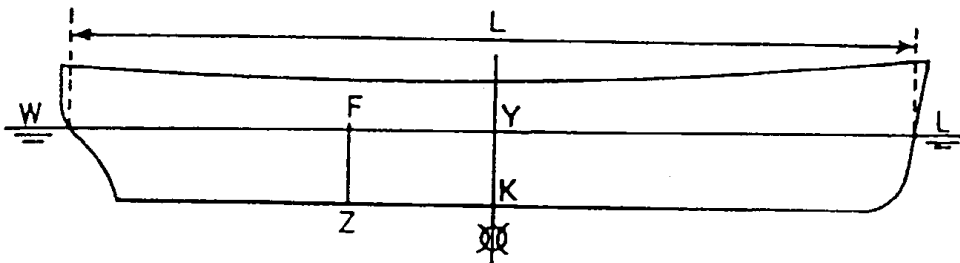
$$\begin{aligned}
\text{Change of Trim} &= \frac{\text{Trimming Moment}}{\text{MCTC}} \\
&= 36 \times 12 \times \frac{1,025}{1,000} \times \frac{0.0487}{4.32}
\end{aligned}$$

= 5 cm. by the stern  
 = 0.05 m. by the stern

	F	Aft
Draft before Trimming	= 2.075 m	4.075 m
Change due to trim	= 0.025 m	0.025 m
New draft	= 2.050 m	4.100 m

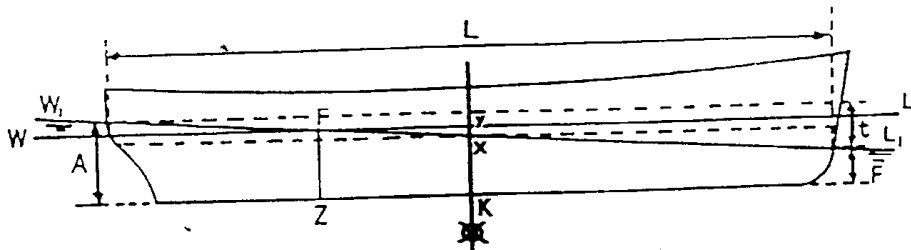
**Draft Rata-Rata yang Sebenarnya (T me mean draft)**

Pada saat kapal dalam kedudukan even keel, drafi rata-rata tengah sama dengan draft rata-rata depan dan belakang, akan tetapi pada saat kapal ada trim, maka draft rata-rata tengah belum tentu sama dengan draft rata-rata depan dan belakang. Perhatikan Gb. 9.8a Cof terletak FY di belakang midship, draft rata-rata tengah sama dengan FZ = YK = drafi rata-rata depan dan belakang.



**Gambar 9.13 Draft Rata – Rata**

Sekarang misalkan bobot w ton digeser ke belakang seperti Gb. 9.13



**Gambar 9.14 Pergesaran Bobot**

Maka kapal akan ada trim sebesar  $t$  meter = draft rata-rata Aft - draft rata-rata F. Karena tidak ada penambahan bobot atau pengurangan bobot, maka draft rata-rata tengah yang sebenarnya =  $FZ = YK$  = draft rata-rata depan dan belakang, akan tetapi draft tengah yang dapat dilihat =  $XK$ , sehingga untuk memperoleh draft yang sebenarnya harus dikoreksi dengan  $XY$ . Segitiga  $XYF$  sebangun dengan segitiga  $L_1LA$ , sehingga:

$$XY : FY = t : L$$

Atau

$$XY = \frac{FY \times t}{L}$$

Jadi draft rata-rata tengah yang sebenarnya = draft rata-rata tengah +  $XY$

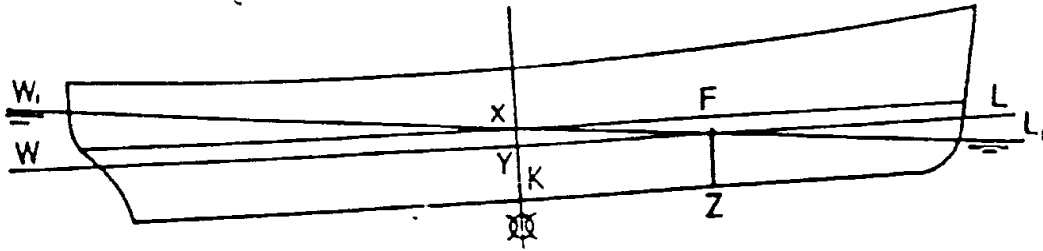
**Keterangan :**

- $XY$  = Koreksi trim (meter)
- $FY$  = Letak Cof terhadap amidship
- $T$  = Trim (meter)
- $L$  = LBP (meter)

Dengan cara yang sama disimpulkan bahwa jika ;

- a. Trim = nol, Cof pada atau tidak pada mid ship, koreksinya = 0 ( nol )
- b. Ada trim, Cof pada mid ship , koreksinya = 0 ( nol )
- c. Trim ke belakang, Cof di belakang amidship, koreksinya = +
- d. Trim ke belakang, Cof di depan amidship, koreksinya = -
- e. Trim ke depan, Cof di depan amidship, koreksinya = +
- f. Trim ke depan, Cof di belakang amidship, koreksinya = -

Untuk lebih jelasnya lihat Gb. 9.8c



Gambar 9.15 Draft yang Sebenarnya

$$KY = KX - XY$$

Atau

$\text{True mean draft} = \text{Mean draft amidship} - \text{Correction}$
---

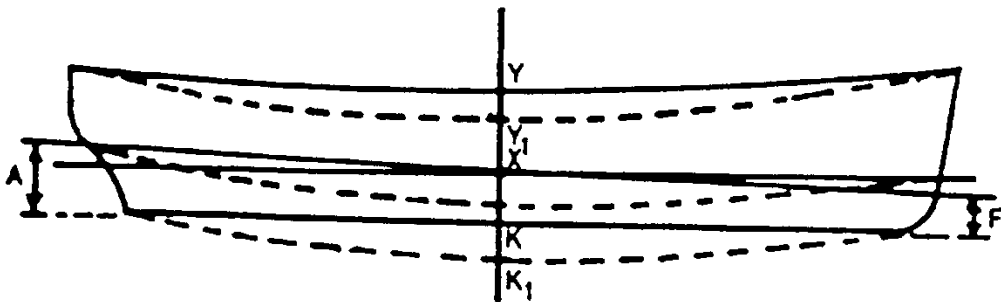
**Contoh :**

A ship's minimum permissible freeboard is at a true mean draft of 8.5 m. The ship's length is 120 m., centre of floatation being 3 m. aft of amidships. TPC = 50 tonnes. The present drafts are 7.36 m. F and 9.00 m. A. Find how much more cargo can be loaded.

Draft forward	=	7.36 m
Draft aft	=	9.00 m
Trim	=	1.64 m. by the stern
Correction	=	$\frac{t \times FY}{L}$
	=	$\frac{1.64 \times 3}{120}$
	=	0.04 m
Draft forward	=	7.36 m
Draft aft	=	<u>9.00 m</u> +
Sum	=	16.36 m : 2
Draft amidships	=	8.18 m

Correction	=	<u>0.04 m</u> +
True mean draft	=	8.22 m
Load mean draft	=	<u>8.50 m</u> -
Increase in draft	=	0.28 m
Cargo to load	=	Increase in draft required x TPC
	=	28 x 50
<i>Ans.</i> Cargo to load	=	1400 tonnes

Apabila kapal hogging maupun sagging, juga akan mempengaruhi draft rata-rata, perhatikan Gb. 9.15 (Cof berimpit dengan midship)



**Gambar 9.16 Cof Berimpit dengan Midship**

Kapal tidak hogging dan juga tidak sagging ditunjukkan dengan garis utuh tidak terputus-putus, raft rata-rata tengah (KX) = draft rata-rata depan (F) + draft rata-rata belakang (A). Sekarang kapal dalam kedudukan sagging, ditunjukkan dengan garis putus-putus, maka:

$$K_1X = KX + KK_1$$

Atau

$$\text{Draft rata-rata tengah} = 0,5 (\text{draft rata-rata depan} + \text{draft rata-rata belakang}) + \text{koreksi}$$

Dengan cara yang sama untuk kapal hogging maka:

$$\text{Draft rata-rata tengah} = 0,5 (\text{draft rata-rata depan} + \text{draft rata-rata belakang}) - \text{koreksi}$$

**Contoh :**

A ship is floating in water of relative density 1.015. The present displacement is 12,000 tonnes, KG 7.7 m., KM 8.6m. The present drafts are F 8.25 m., A 8.65 m., and the present freeboard amidships is 1.06 m. The Summer draft is 8.53 m. and the Summer freeboard is 1.02 m. FWA 160 mm. TPC 20. Assuming that the KM is constant, find the amount of cargo (Kg 10.0 m.) which can be loaded for the ship to proceed to sea at the loaded Summer draft.

Also find the amount of the hog or sag and the initial GM on departure.

Summer freeboard	= 1.02 m	Present mean freeboard	= 1.06 m
Summer draft	= 8.53 m +	Constant	= 9.55 m -
Constant	<hr style="width: 100%; border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 0;"/> = 9.55 m	Present draft amidships	<hr style="width: 100%; border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 0;"/> = 8.49 m
		Mean of drafts F & A	= 8.45 m -
		Ship is sagged by	<hr style="width: 100%; border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 0;"/> = 0.04 m

$$\begin{aligned} \text{Dock water allowance} &= \frac{1025-D}{25} \times \text{FWA} \\ &= \frac{10}{25} \times 160 \\ &= 64 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TPC in dock water} &= \frac{RD_{dw}}{RD_{sw}} \times \text{TPC}_{sw} \\ &= \frac{1.015}{1,025} \times 20 \\ &= 19.8 \text{ tonnes} \end{aligned}$$

Summer freeboard	=	1.020 m
DWA	=	0.064 m -
Min. Permissible freeboard	=	$\frac{0.956 \text{ m}}{\quad}$
Present freeboard	=	1.060 m -
Mean sinkage	=	$\frac{0.104 \text{ m}}{\quad}$
Cargo to load	=	Sinkage x $TPC_{dw}$
	=	205.92 tonnes
$GG_1$	=	$\frac{w \times d}{W+w}$
	=	$\frac{205.92 \times (10 - 7.7)}{12,000 + 205.92}$
Rise of G	=	0.039 m
Present GM	=	0.900 m -
GM on departure	=	$\frac{0.861}{\quad}$

### 9.3 PENUGASAN

1. The minimum permissible freeboard for a ship is at a true mean draught of 7.3 m. The present draft is 6.2 m. F and 8.2 m. A.  $TPC = 10$ . The centre of floatation is 3 m. aft of amidships. Length of the ship 90 m. Find how much more cargo may be loaded.
2. A ship has a load salt water displacement of 12,000 tonnes, load draft in saltwater 8.5 m., length 120 m,  $TPC = 15$  tonnes, and centre of floatation 2 m. aft of amidships. The ship is at present floating in dock water of density 1,015 kgs. per 011.111. at draft of 7.2 m. F and 9.2 m. A. Find the cargo which must be loaded to bring the ship to the maximum permissible draft.
3. Find the weight of the cargo the ship in question 2 could have loaded had the centre of floatation been 3 m. Forward of amidships instead of 2 m. aft.
4. A ship is floating in dock water of relative density 1.020. The present displacement is 10,000 tonnes,  $KG = 6.02$  m.,  $KM = 6.92$  m. Present drafts are F

12.65 m. A 13.25 m. Present freeboard 1.05 m. Summer draft 13.10 m. and summer freeboard is 1.01 m. FWA 150 mm. TPC 21. Assuming that the KM is constant find the amount of cargo (KG 10.0 m.) which can be loaded for the ship to sail at the load Summer draft. Find also the amount of the hog or sag and the initial metacenter height on departure

#### **9.4 DAFTAR PUSTAKA**

Hugo Nano Ansanay, 2015 Dasar-Dasar Stabilitas Kapal, Jakarta

SCTW 1995 Amandemen Manila 2010

Soegiyanto, 2008 Stabilitas Kapal, PIP Semarang

Supriyono Hadi, 2013 Stabilitas Kapal, PIP Semarang

Wakidjo, 1972 Stabilitas Kapal, Jakarta

## BAB 10

### MASUK *DOCK* DAN KANDAS

#### 10.1 KOMPETENSI DASAR

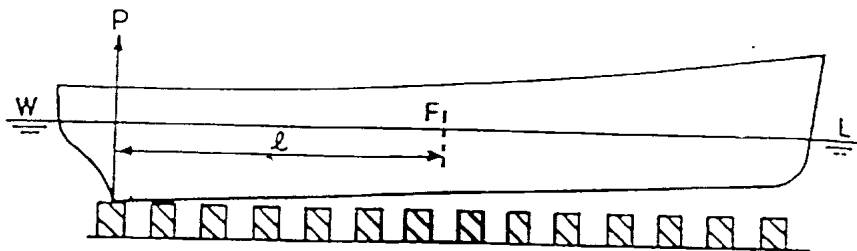
Pada bab ini diharapkan taruna mampu untuk effective GM.

#### 10.2 URAIAN MATERI

##### Persiapan

1. Sebelum masuk dock, usahakan GM positif, karena pada waktu lunas (*keel*) mulai menyentuh block dock akan terjadi pengurangan GM awal.
2. Usahakan trim ke belakang sekecil mungkin jika perlu even keel agar setelah lunas belakang menyentuh dock, pengaturan berikutnya lebih mudah.
3. Kapal harus tegak ( tidak senget).
4. Tali - tali tross dan spring harus sudah siap untuk digunakan.
5. Mesin - mesin derek buritan dan haluan siap digunakan

**Gaya-gaya yang bekerja saat lunas menyentuh dock.**



**Gambar 10.1 Gaya Lunas Menyentuh Dock**

Pada saat **lunas** belakang menyentuh blok dock ( Gambar 10.1 ) akan timbul gaya  $P$  yang bekerja vertikal ke atas melalui keel tersebut, akibatnya:

1. Displacement kapal akan berkurang
2. Nilai GM awal akan berkurang.
3. Akan timbul trimming momen yang besarnya sama dengan  $P \times l$ , akan tetapi trimming moment ini juga sama dengan  $MCTC \times t$  atau,

$$P \times l = MCTC \times t$$

**Keterangan :**

- P = Gaya ke atas (Upthrust) (tonnes meter)
- l = Jarak titik apung (Cof) dengan P (meter)
- t = Trim saat itu atau chang of trim

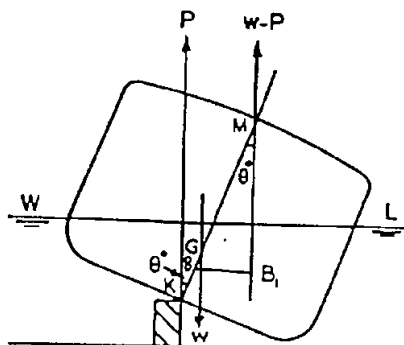
Besar kecilnya P sangat tergantung dari trim saat itu, jika trim besar, nilai P juga besar dan jika nilai trim kecil P juga kecil. Nilai P semakin membesar mulai saat keel belakang menyentuh block dock, namun nilai pembesaran ini sukar diperhitungkan karena proses tersebut sangat cepat. Proses tersebut dinamakan periods kritis. Dalam proses pembongkaran, nilai P dapat dianggap membongkar muatan dari bagian bawah, sehingga semakin besar nilai P semakin besar pula pengurangan nilai GM.

Setelah semua keel duduk rata pada block dock, proses pemompaan air dock terus berlangsung, dalam hal demikian pengurangan tinggi air dock sama dengan pengurangan draft, sehingga nilai P akan berubah sebanding dengan TPC dan penurunan draft tersebut, yang dirumuskan :

$$P = TPC \times h$$

**Keterangan :**

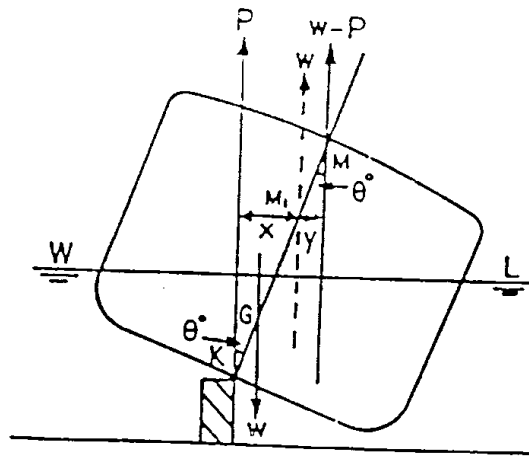
- h = Tinggi penurunan air dock atau tinggi penurunan draft (cm)



**Gambar 10.2 Penampang Melintang Sebuah Kapal**

Pada Gb. 10.2 nampak penampang melintang sebuah kapal selama oleh pengaruh dari luar dengan sudut senget kecil ( $Q^\circ$ ). Berat benaman kapal  $W$  tonnes bekerja ke bawah melalui titik  $G$ , gaya  $P$  bekerja ke atas melalui titik  $K$  yang besarnya sama dengan beban yang disangga oleh block dock serta gaya apung  $B$  yang bekerja ke atas yang besarnya sama dengan  $W - P$  melalui titik  $B_1$  dan  $M$ .

Jadi dalam proses ini terdapat tiga gaya yang arahnya saling berlawanan dan sejajar satu sama lain. Agar kapal tetap dalam keadaan seimbang, maka jumlah gaya ke atas harus sama dengan jumlah gaya ke bawah, atau risultan gaya yang terjadi harus sama dengan nol.



**Gambar 10.3 Risultan Gaya**

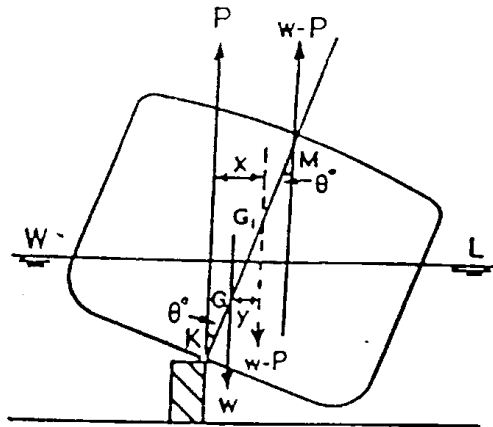
Gambar 10.3. Menganggap bahwa gaya  $P$  melalui titik  $K$  dan gaya  $(W - P)$  melalui titik  $M$ , yang seolah-olah telah bergerak turun ke  $M_1$ . (cara pertama)

$$\begin{aligned}
 (W - P) Y &= P \times X \\
 (W - P) MM_1 \sin Q &= P \times KM_1 \times \sin Q \\
 W \times MM_1 - P \times MM_1 &= P \times KM_1 \\
 W \times MM_1 &= P (KM_1 + MM_1) \\
 W \times MM_1 &= P \times KM
 \end{aligned}$$

Atau

$$\boxed{MM_1 = \frac{P \times KM}{W}}$$

Selanjutnya  $G_m \text{ effective} = G_m \text{ awal} - MM_1$  dan moment stabilitas statis =  $W \times GZ$



**Gambar 10.4 Seolah – Olah Gaya Bergeser Naik**

Pada gambar 10.3 b. Menganggap; bahwa gaya  $P$  melalui titik  $K$  dan gaya  $(W - P)$  melalui titik  $G$ , yang seolah-olah telah bergeser naik ke  $G_1$  (cara kedua)

$$\begin{aligned}
 W \times Y &= P \times X \\
 W \times GG_1 \times \sin Q &= P \times KG_1 \times \sin Q \\
 W \times GG_1 &= P \times KG_1 \\
 W \times GG_1 &= P \times (KG + GG_1) \\
 W \times GG_1 - P \times GG_1 &= P \times KG \\
 GG_1 (W - P) &= P \times KG
 \end{aligned}$$

Atau

$$GG_1 = \frac{P \times KG}{W - P}$$

Selanjutnya  $G_m \text{ effective} = G_m \text{ awal} - GG_1$  dan moment stabilitas statis =  $W \times GZ$

**Keterangan :**

- $MM_1$  = Lost of GM (meter) cara pertama
- $GG_1$  = Lost of GM (meter) cara kedua

- P = Gaya tekan ke atas (tonnes)
- KM = KM awal sebelum kapal masuk dock (meter)
- KG = KG awal sebelum kapal masuk dock (meter)
- W = Displacement (tonnes)
- GM awal = GM sebelum kapal masuk dock (meter)
- GM effective = GM saat lunas menyentuh block dock (meter)
- GZ = GM effective x sin Q

**Contoh :**

1. Sebuah kapal dengan displacement 6.000 ton, KM = 7,5 meter, KG = 6 meter, MCTC = 90 tonnes meter, akan masuk dry dock dengan m'rn 0,3 meter by the stern. Cof 45 meter from aft. Hitunglah GM effective pada periode kritis sebelum lunas kapal seluruhnya menyentuh dock Hitung pula righting momenmya!

Jawab :

$$P = \frac{MCTC \times t}{l} = \frac{90 \times 30}{45} = 60 \text{ ton}$$

Cara 1

$$\begin{aligned} \text{Lost of GM (MM}_1) &= \frac{P \times KM}{W} \\ &= \frac{60 \times 7,5}{6.000} \\ &= 0,075 \end{aligned}$$

$$\text{Original GM} = 1,500 -$$

$$\text{Jadi Effective GM} = \frac{\quad}{\quad} = 1,425 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Righting moment} &= W \times GM_1 \times \sin Q \\ &= 6.000 \times 1,425 \times \sin Q \\ &= 8.550 \times \sin Q \text{ T.m} \end{aligned}$$

Cara 2

$$\begin{aligned} \text{Lost of GM (MM}_1) &= \frac{P \times KG}{W - P} \\ &= \frac{60 \times 6}{6.000 - 60} \\ &= 0,061 \end{aligned}$$

$$\text{Original GM} = 1,500 -$$

$$\text{Jadi Effective GM} = \frac{\quad}{\quad} = 1,439 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Righting moment} &= W \times GM_1 \times \sin Q \\ &= 6.000 \times 1,425 \times \sin Q \\ &= 8.550 \times \sin Q \text{ T.m} \end{aligned}$$

2. Sebuah kapal dengan displacement 3.000 ton, dan LBP 100 meter, KM = 6 meter KG = 5,5 meter dan Cof berada 2 meter di belakang midship. MCTC = 40 tonnes-m. Hitunglah maximum trim agar effective GM saat kritis sebelum kapal duduk rata tidak boleh kurang dari 0,3 meter.

**Jawab:**

$$\begin{array}{rcl}
 \text{KM} & = & 6,0 \text{ m} \\
 \text{KG} & = & 5,5 \text{ m} - \\
 \hline
 \text{Original GM} & = & 0,5 \text{ m} \\
 \text{Virtual GM} & = & 0,3 \text{ m} - \\
 \hline
 \text{Virtual lost of GM} & = & 0,2
 \end{array}$$

Cara 1

$$\begin{aligned}
 \text{Lost of GM} &= \frac{P \times \text{KM}}{W} \\
 (\text{MM}_1) &= \frac{P \times 6}{3.000} \\
 0,2 &= \frac{P \times 6}{3.000} \\
 &= 100 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Akan tetapi } P \times 1 &= \text{MCTC} \times t \\
 1 &=
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{P \times 1}{\text{MCTC}} \\
 &= \frac{400 \times 48}{40} \\
 &= 120 \text{ cm by the stern}
 \end{aligned}$$

Cara 2

$$\begin{aligned}
 \text{Lost of GM} &= \frac{P \times \text{KG}}{W - P} \\
 (\text{GG}_1) &= \frac{P \times 5,5}{3.000 - P} \\
 0,2 &= \frac{P \times 5,5}{3.000 - P} \\
 P &= 600/5,7 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Akan tetapi } P \times 1 &= \text{MCTC} \times t
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{P \times 1}{\text{MCTC}} \\
 &= \frac{600/5,7 \times 48}{40} \\
 &= 126,3 \text{ cm. by the stern}
 \end{aligned}$$

3. Sebuah kapal displacement 5000 ton, akan masuk dock dengan trim 0,45 m, KM = 7,5 m. KG = 6,0 m. MCTC = 120 tonnes-m. Cof berada 60 m from aft. Hitung effective GM saat kritis sebelum kapal duduk rata pada block dock, dan asumsikan bahwa transverse metacentris rises 0,075 meter.

**Jawab :**

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{MCTC} \times t}{I} \\
 &= \frac{120 \times 45}{60} \\
 &= 90 \text{ tonnes}
 \end{aligned}$$

Cara 1

$$\begin{aligned} \text{Lost of GM} &= \frac{P (KM + \text{rise})}{W} \\ (\text{MM}_1) &= \frac{90 (7,5 + 0,075)}{5.000} \\ &= 0,136 \text{ m} \end{aligned}$$

Cara 2

$$\begin{aligned} \text{Lost of GM} &= \frac{P \times KG}{W - P} \\ (\text{GG}_1) &= \frac{90 \times 6}{4.910} \\ &= 0,110 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Original KM} &= 7,5 \text{ m} \\ \text{Rise M} &= 0,075 \text{ m} \\ \hline \text{New KM} &= 7,575 \text{ m} \\ \text{Old KG} &= 6,000 \text{ m} \\ \hline \text{Original GM} &= 1,575 \text{ m} \\ \text{MM}_1 &= 0,136 \text{ m} \\ \hline \text{Jadi GM effective} &= 1,439 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Old KG} &= 6,0 \text{ m} \\ \text{GG}_1 &= 0,11 \text{ m} \\ \hline \text{New KG} &= 6,11 \text{ m} \\ \text{New KM} &= 7,575 \text{ m} \\ \hline \text{Jadi GM effective} &= 1,465 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Sebuah kapal dengan displacement 5000 tonnes, masuk dock dengan drafi even keel, KM = 6 m, KG = 5,5 m dan TPC 50 tonnes-m. Hitunglah Lost of GM setelah kapal duduk rata pada block dock dan pada saat itu air masih turun 0,24 m.

**Jawab:**

$$\begin{aligned} P &= \text{TPC} \times \text{pengurangan draft} = 50 \times 24 \\ &= 1.200 \text{ tonnes} \end{aligned}$$

Cara 1

$$\begin{aligned} \text{Lost of GM} &= \frac{P \times KM}{W} \\ (\text{MM}_1) &= \frac{1.200 \times 6}{5.000} \\ \text{Jadi lost of GM} &= 1,44 \text{ m} \end{aligned}$$

Cara 2

$$\begin{aligned} \text{Lost of GM} &= \frac{P \times KG}{W - P} \\ (\text{GG}_1) &= \frac{1.200 \times 5,5}{5.000 - 1.200} \\ \text{Jadi lost of GM} &= 1,74 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Original GM} &= 0,5 \text{ m } (-) \\ \text{Effective GM} &= \frac{0,5 \text{ m } (-)}{0,94 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Original GM} &= 0,5 \text{ m } (-) \\ \text{Effective GM} &= \frac{0,5 \text{ m } (-)}{1,24 \text{ m}} \end{aligned}$$

5. Sebuah kapal displacement 8.000 tomes kandas pada beting pasir, draft kapal sama rata = 5,2 meter. KG = 4 m, air akan surut sedemikian hingga tinggi air 3,2 meter. Hitunglah GM saat itu jika KM = 5,0 m dan TPC 15 tonnes.

**Jawab :**

$$\begin{aligned} P &= \text{TPC} \times \text{Fall in water level} \\ &= 15 \times (5,2 \text{ m} - 3,2 \text{ m}) \\ &= 15 \times 200 \\ &= 3.000 \text{ tonnes} \end{aligned}$$

Cara 1

$$\begin{aligned} \text{Lost of GM} &= \frac{P \times \text{KM}}{W} \\ (\text{MM}_1) &= \frac{3.000 \times 5}{8.000} \\ \text{MM}_1 &= 1,88 \text{ m} \\ \text{KM} &= 5,00 \text{ m } (-) \\ &= \frac{3,12 \text{ m}}{4,00 \text{ m } (-)} \\ \text{KG} &= 4,00 \text{ m } (-) \\ \text{Jadi Effective} &= \frac{0,88 \text{ m}}{\text{GM}} \end{aligned}$$

Cara 2

$$\begin{aligned} \text{Lost of GM} &= \frac{P \times \text{KG}}{W - P} \\ (\text{GG}_1) &= \frac{3.000 \times 4}{8.000 - 3.000} \\ \text{GG}_1 &= 2,4 \text{ m} \\ \text{KG} &= 4,0 \text{ m } (+) \\ &= \frac{6,4 \text{ m}}{5,0 \text{ m } (-)} \\ \text{KM} &= 5,0 \text{ m } (-) \\ \text{Jadi Effective} &= \frac{1,4 \text{ m}}{\text{GM}} \end{aligned}$$

**Terminologi**

1. Apabila kapal masuk dock dengan trim
  - a. Akan timbul gaya P yang bekexja pada lunnas yang telah duduk pada blok deck sebesar P tonnes bekerja vertikal ke atas melalui lunas tersebut.
  - b. Dengan adanya gaya P tersebut berarti displacement awal akan berkurang sebesar P tonnes, jadi displacement saat itu menjadi W - P.

- c. Karena displacement berkurang, maka pengurangan bobot tersebut seolah-olah diambilkan bobot dari dekat lunas yang duduk pada block dock, atau titik G muatan pada bagian bawah berkurang, sehingga titik G kapal akan bergerak ke atas yang mengakibatkan pengurangan GM awal.
  - d. Saat dimana sebagian lunas menyentuh block dock saat seluruh lunas duduk pada block dock disebut periode kritis. Pada saat ini P akan membesar sebesar perbedaan antara displacement awal dengan displacement saat periode kritis sampai kapal duduk rata pada block dock ( hal ini sulit dihitung )
2. Apabila kapal masuk dock tanpa trim ( even keel )
    - a. Kapal akan turun rata dan duduk pada block dock secara bersamaan bagian belakang dan depan. Pada saat kapal sudah duduk rata, air terus dipompa keluar. Penurunan ini berarti pengurangan draft, sehingga  $P = TPC \times$  pengurangan draft tersebut.
    - b. Sebelum kapal duduk rata pada block dock, belum ada pengaruhnya terhadap stabilitas, meskipun air terus dipompa keluar.
  3. Untuk perhitungan lost of GM digunakan dua metode, yang masing-masing metode menghasilkan lost of GM yang berbeda dan akhirnya menghasilkan GM effective yang berbeda pula, namun jawaban tersebut semuanya benar karena dalam mempelajari stabilitas, yang penting bukan effective GM-nya tetapi nilai moment penegaknya yaitu  $W \times GZ$ . sehingga meskipun dari masing-masing cara menghasilkan effective GM yang berbeda (perhatikan contoh-contohnya) namun momen penegaknya (righting momen) relatif sama.

### 10.3 PENUGASAN

1. A ship being dry docked has a displacement of 1,500 tonnes,  $TPC = 5$  tomes,  $KM = 3,5'$ m.,  $GM = 0,5$  m., and has taken blocks fore and aft at 3 m. draft. Find the GM when the water level has another 0,6 m.

2. A ship of 4,200 tonnes displacement has GM 0,7 m and present drafts 2,7 m. F and 3,7 m. A. She is to adrydock. MCTC = 120 tonnes-m. The after block is 60 m. aft of the center of floatation. At 3,2 m mean draft KM = 8 m, and 2,7 draft KM = 8,05. Find the GM on taking the blocks fore and aft.
3. A box-shaped vessel 150 m. long, 10 m. beam, and 5 m. deep, has a mean draft in salt water Of 3 m. and is trimmed 1 m. by the stern, KG = 3,5. State whether it is safe to dry dock this vessel in this condition or not, and give reasons for your answer.
4. A ship of 6,000 tonnes displacement is 120 m long and is trimmed 1 m by the stern. KG = 5,3 m., GM = 70 m. MCTC = 90 tonnes-m. Is it safe to dry dock the ship in this condition? ( assume that the centre of floatation is amidships.)
5. A ship of 4,000 tonnes displacement, 126 m. long, has KM = 6,7 m. KG = 6,1 m. the centre of flotation is 3 m. aft of amidships. MCTC = 120 tonnes-m Find the maximum trim at which the ship may enter a drydock if the minimum GM at the critical instant is to be 0,3 m.

#### 10.4 DAFTAR PUSTAKA

Hugo Nano Ansanay, 2015 Dasar-Dasar Stabilitas Kapal, Jakarta  
 SCTW 1995 Amandemen Manila 2010  
 Soegiyanto, 2008 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
 Supriyono Hadi, 2013 Stabilitas Kapal, PIP Semarang  
 Wakidjo, 1972 Stabilitas Kapal, Jakarta

# BAB 11

## STABILITAS PADA KAPAL YANG BOCOR

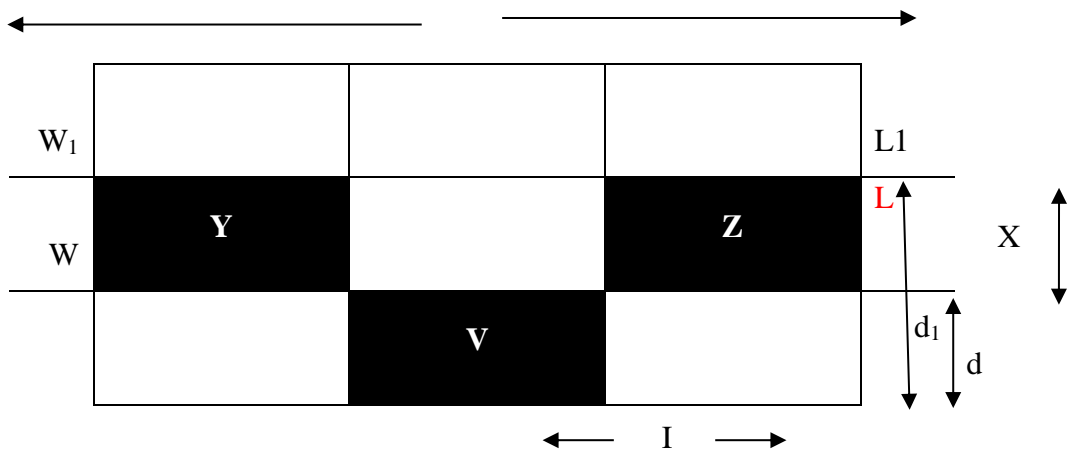
### 11.1 KOMPETENSI DASAR

Bab ini diharapkan taruna dapat menghitung draft dan draft baru karena adanya kebocoran pada kapal.

### 11.2 URAIAN MATERI

#### Bocor di Bagian Tengah - Tengah kapal

Stabilitas kapal akan mengalami perubahan apabila kapal mengalami kebocoran, baik stabilitas melintang maupun membujur. Untuk mempelajari pengaruh kebocoran terhadap stabilitas, dapat dipelajari hal - hal sebagai berikut: ( Gambar 11.1)



**Gambar. 11.1 Pengaruh Kebocoran terhadap Stabilitas Kapal**

1. Semua kapal belum mengalami bocor, dengan draft  $d$  meter.
2. Kemudian pada bagian tengah - tengah kapal bocor, sehingga air laut akan masuk ke bagan tersebut.
3. Dengan masuknya air ke bagian tersebut berarti kapal akan kehilangan volume daya apung sebesar  $v$  MP. (*Volume lost of buoyancy*)

4. Agar kapal tidak tenggelam, harus ada volume daya apung tambahan sebagai pengganti terhadap lost of buoyancy tersebut, jadi harus ada penambahan draft sebesar  $(y + z) M^3$ .
5. Selama  $v$  belum sama dengan  $y + z$ , kapal akan bergerak turun sedemikian rupa sampai mencapai  $v$  sama dengan  $y + z$ .
6. Setelah  $v = y + z$  kita lihat draft barunya, misalkan  $d_1$ .

Selanjutnya :  $v = l \times B \times d \times C_b = (\text{volume lost of buoyancy})$

$$y + z = (L - l) \times B \times (d_1 + d) \times C_b = (\text{Volume required buoyancy})$$

Karena  $v = y + z$ , maka :

$$l \times B \times d \times C_b = (L - l) \times B \times (d_1 + d) \times C_b$$

$$d_1 - d = \frac{l \times B \times d \times C_b}{(L - l) \times B \times C_b}$$

atau

$x = \frac{v}{A - a}$	..... 11. 1
-----------------------	-------------

- $x$  = Penambahan draft dalam meter
- $v$  = Volume daya apung yang hilang dalam meter kubik
- $a$  = Luas bidang air seluruhnya sebelum kapal bocor dalam meter persegi
- $A$  = Luas bidang air yang hilang dalam meter persegi
- $A - a$  = Luas bidang air yang utuh dalam meter persegi

Nilai  $v$  dan  $a$  adalah nilai efektif, artinya luas bidang air yang betul-betul digenangi air, jika ada muatan, tiang-tiang tidak diperhitungkan.

**Contoh 1 :**

Kapal berbentuk kotak panjang 50 m terampung even keel dengan draft 4m. Kompartemen di tengah sepanjang 10 m kosong. Carilah draft baru jika kompartemen tersebut bocor!

**Jawab:**

$$x = \frac{v}{A-a} = \frac{10 \times B \times 4}{(50 \times B) - (10 \times B)} = \frac{40 B \text{ m}^3}{40 B \text{ m}^2} = 1 \text{ m}$$

**Contoh 2 :**

Kapal berbentuk kotak panjang 150 m, lebar 24 m dan tinggi 12 m terampung even keel dengan draft 5 m dan GM 0,9 m. Kompartemen di tengah bocor sepanjang 20 m semula dalam keadaan kosong. Hitunglah penambahan draft dan GM baru!

**Jawab :**

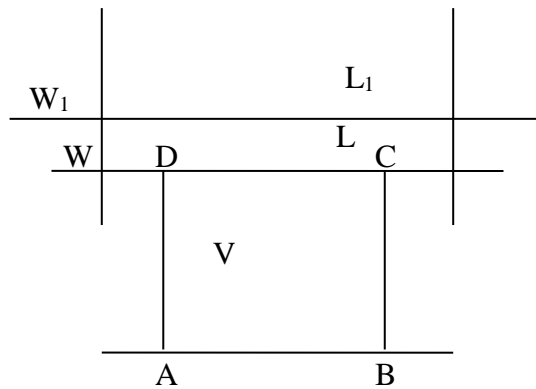
KB lama	= 0.5 draft lama = 0.5 x 5	=	2.5 m
BM lama	= $\frac{B^2}{12 \times d} = \frac{24 \times 24}{12 \times 5}$	=	9.6 m
KM lama		=	12.1 m
GM lama		=	0.9 m
KG lama		=	11.2 m
x	= $\frac{v}{A-a} = \frac{20 \times 24 \times 5}{(150 \times 24) - (20 \times 24)}$	=	0.77 m
Draft lama		=	5.00 m
Draft baru		=	5.77 m
KB baru	= 0.5 draft lama = 0.5 x 5.77	=	2.89 m
BM baru	= $\frac{B^2}{12 \times d} = \frac{24 \times 24}{12 \times 5.77}$	=	8.32 m
KM baru		=	11.21
KG lama		=	11.20 m
Jadi GM baru		=	0.01 m

**Catatan :**

1. Dalam kapal bocor, tidak terjadi perubahan titik G karena tidak ada bobot yang berubah, jadi KG nya tetap.
2. Jika kita menganggap ada pertumbuhan bobot maka titik G akan mengalami perubahan.

**Permeabilitas**

Permeabilitas adalah prosentase dari seluruh air yang menggenangi ruangan dengan volume air ditambah volume benda yang di dalam ruangan tersebut. Perhatikan sket gambar tersebut dibawah :



**Gambar 11.2 Permeabilitas**

Dengan memperhatikan gambar tersebut ternyata semakin banyak muatan yang digenangi air, semakin kecil permeabilitasnya, berarti semakin kecil pula volume lost buoyancynya.

Dengan memperhitungkan adanya permeabilitas ini maka rumus 11.1 akan berubah menjadi :

$$x = \frac{v \times p}{A - (a \times p)}$$

Dimana  $p$  adalah permeabilitas tanpa satuan.

Permeabilitas dapat dihitung dengan rumus :

$$p = \frac{BS}{SF} \times 100\%$$

Dimana BS adalah BS untuk setiap ton barang atau dihitung dengan SF, yang ditetapkan dikurangi dengan SF yang sebenarnya, sedangkan SF adalah SF yang ditetapkan yang sudah diketahui dalam soal.

$$SF \text{ yang sebenarnya} = \frac{1}{BJ \text{ barang yang ada dalam ruangan}}$$

Misalkan kayu yang tergenang dalam ruangan yang bocor berat jenisnya 0,8 berarti

$$SF \text{ kayu yang sebenarnya} = \frac{1}{BJ} = \frac{1}{0,8} = 1,25$$

Jika Sf yang ditetapkan (diketahui dalam soal = 1,5), maka :

$$\text{Permeabilitas} = \frac{1,5 - 1,25}{1,5} \times 100 \% = 0,16 \% = \frac{1}{6}$$

### Contoh 1

Kapal berbentuk kotak panjang 64 m terapung even keel dengan draft 3 m. Kompartemen yang ada di tengah - tengah kapal bocor, panjangnya 12 m, dan kompartemen tersebut berisi muatan yang permeabilitasnya 25 %. Hitunglah penambahan draftnya!

**Jawab:**

$$X = \frac{v \times p}{A - (a \times p)} = \frac{0,25 \times 12 \times B \times 3}{(64 \times B) - (0,25 \times 12 \times B)} = \frac{9 B}{61 B} = 0,15$$

Jadi penambahan draft = 0,15 m

## Contoh 2

Kapal berbentuk kotak dengan ukuran panjang 150 m, lebar 20 m dan tinggi 12 m, mengapung even keel dengan draft 5 m. Ruangan ditengah sepanjang 15 m berisi papan kayu yang berat jenisnya 0,8 dan SF-nya 1,5 meter kubik per ton. Hitunglah draft baru jika ruangan tersebut tergenang air!

### Jawab:

$$\text{SF kayu yang sebenarnya} = \frac{1}{\text{BJ}} = \frac{1}{0,8} = 1,25 \text{ m}^3$$

$$\text{SF kayu ditetapkan dalam soal} = 1,50 \text{ m}^3$$

$$\text{BS kayu} = 0,25$$

$$p = \frac{0,25}{1,5} \times 100\% = \frac{100}{6} \% = \frac{1}{6}$$

$$\begin{aligned} X &= \frac{v \times p}{A - (a \times p)} \\ &= \frac{\frac{1}{6} \times 15 \times 20 \times 5}{(150 \times 20) - (\frac{1}{6} \times 15 \times 20)} \\ &= \frac{250}{2950} = 0,085 \end{aligned}$$

$$\text{Draft lama} = 5,000$$

$$\text{Jadi draft baru} = 5,085$$

Jika air yang masuk dibatasi oleh tutup palka pada lower hool, maka berat air yang masuk dalam palka sama dengan berat air yang dipindahkan oleh badan kapal. Sama dengan TPC x penambahan draft.

### Contoh 3

Kapal terapung di air laut dengan draft 6 m even keel, TPC 20 ton. Ruangan di tengah- tengah bocor sepanjang 20 m, lebar 10 m dan dalam 4 m. Ruangan tersebut berisi kayu yang permeabilitasnya 25 %. Hitunglah draft baru!

#### Jawab:

$$\begin{aligned} \text{Hilangnya gaya apung (air yang masuk dalam ruangan)} &= 205 \text{ ton} \\ (0,25 \times 20 \times 10 \times 4 \times 1,025) \end{aligned}$$

Penambahan raft x TPC = hilangnya gaya apung

$$X \times \text{TPC} = 205$$

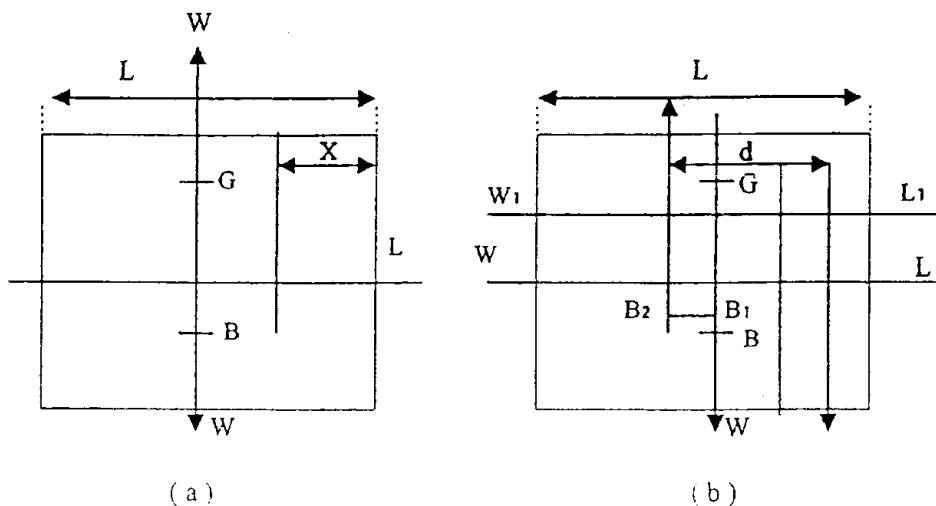
$$X = 205/20 = 10.25 \text{ cm} = 0.1025 \text{ m}$$

$$\text{Draft lama} = 6.0000 \text{ m}$$

$$\text{Jadi draft baru} = 6.1025 \text{ m}$$

#### Bocor pada Bagian Ujung-Ujung Kapal.

Gambar 11.3 menunjukkan kapal bocor pada ujung depan, sehingga air laut menggenangi ruangan tersebut sepanjang X meter.



**Gambar. 11.3 Kapal Bocor pada Ujung Depan**

1. Kapal berbentuk kotak, terapung even keel (Gambar. 11.3 a) dengan draft  $d$  meter, titik B berada pada  $0.5 d$ , dan titik G berada tegak lurus zdi atas B.
2. Misalkan ruanagan di bagian ujung depan tergenang air karena bocor, sepanjang  $X$  meter, jadi kapal akan kehilangan sebagian gaya apungnya. (Gb. 11.3 b)
3. Untuk mengimbangi hilangnya gaya apung tersebut, maka kapal akan menambah draft, dan draft baru sekarang di titik B akan bergerak ke atas, berada pada  $0,5 d_1$ , titik G tetap.
4. Karena bocor pada ujung depan, maka  $B_1$  akan bergerak ke  $B_2$  dan  $B_1B_2 = 0,5 X$
5. Trimming momen bekerja ke depan sebesar  $W \times B_1B_2$ .
6. Misalkan kita anggap bahwa berat air yang menggenangi ruangan tersebut seolah—olah merupakan penambahan bobot sebesar  $w$  ton, maka :

$$B_1B_2 = \frac{w \times d}{W \text{ baru}}$$

Dimana :

$d$  = jarak antara B kepertengahan ruang yang bocor

Selanjutnya  $B_1B_2 \times W \text{ baru} = w \times d = \text{trimming moment}$ .

Selanjutnya untuk mendapatkan draft baru perhatikan contoh-contoh berikut:

#### **Contoh 4:**

Kapal bentuk kotak panjang 75 m x 10 m x 6 meter terapung di air laut even keel dengan draft 4,5 m. hitunglah draft barunya bila ruangan di depannya yang panjang 5 m tergenang!

Jawab:

a. Seumpama kapal itu tenggelam

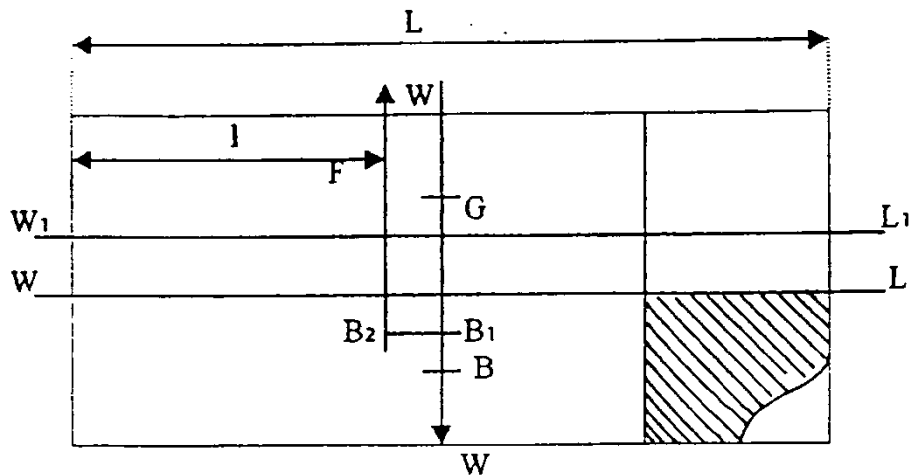
$$\begin{aligned}w &= X \times B \times d \times 1,025 \text{ ton} \\ &= 5 \times 10 \times 4,5 \times 1,025 \\ &= 230,63 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{TPC} &= \frac{1,025 \times 70 \times 10}{100} \\ &= 7,175\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Penambahan draft} &= \frac{w}{\text{TPC}} \\ &= \frac{230,63}{7,175} \\ &= 32,14 \text{ cm} \\ &= 0,321 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Draft lama} = 4,500 \text{ m}$$

$$\text{Mean draft baru} = 4,821 \text{ m}$$



b. Sekarang kita lihat trimnya

$$\begin{aligned}W &= L \times B \times d \times 1,025 \text{ ton} \\ &= 75 \times 10 \times 4,5 \times 1,025 \\ &= 3.459 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BM_L &= \frac{l L}{V} = \frac{BL^3}{12 \times V} \\
 &= \frac{10 \times 70^3}{12 \times 75 \times 10 \times 4,5} \\
 &= 84,7 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MCTC &= \frac{W \times BM_L}{100 \times L} \\
 &= \frac{3.459 \times 84,7}{100 \times 75} \\
 &= 39,05 \text{ ton.m.per cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perubahan trim} &= \frac{\text{Momen perubahan trim}}{MCTC} \\
 &= \frac{w \times d}{MCTC} \\
 &= \frac{230,6 \times 37,5}{39,05} \\
 &= 221,4 \text{ cm ke depan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perubahan draft} &= \frac{l}{L} \times \text{perubahan trim} \\
 \text{belakang} &= \frac{35}{75} \times 221,4 \\
 &= 103,3 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perubahan draft depan} &= \text{Perubahan trim} - \text{perubahan draft belakang} \\
 &= 221,4 - 103,3 \\
 &= 118,1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

c. Sekarang hitunglah draft barunya

Draft sebelum trim	Depan	4,821 m	Belakang	4,821 m
Perubahan karena trim	Depan	1,181 m	Belakang	1,033 m
Draft baru	Depan	6,002 m	Belakang	3,788 m

**Contoh 5:**

Sebuah kapal bentuk kotak panjang 100 m x 20 m x 12 m terapung di air laut dengan draft 6 m even keel. Ruangan depan panjang 10 m, lebar 12 m dan jarak dari dasar ke dinding kedap air 4 meter di atas lunas. Ruangan itu berisi muatan dengan permeabilitas 25%. Hitunglah draft baru bila ruangan itu tergenang!

**Jawab :**

Massa air yang masuk ke dalam ruangan yang bocor/tergenang

$$= \frac{25}{100} \times 10 \times 12 \times 4 \times 1,025$$

$$= 123 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{TPC} &= \frac{1,025 \times L \times B}{100} \\ &= \frac{1,025 \times 100 \times 20}{100} \\ &= 20,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penambahan draft} &= \frac{w}{\text{TPC}} \\ &= \frac{123}{20,5} \\ &= 6 \text{ cm} \\ &= 0,06 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= L \times B \times d \times 1,025 \\ &= 100 \times 20 \times 6 \times 1,025 \\ &= 12.300 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BM}_L &= \frac{IL}{V} \\ &= \frac{BL^3}{12 \times V} \end{aligned}$$

$$= \frac{20 \times 100^3}{12 \times 100 \times 20 \times 6}$$

$$= 139 \text{ m}$$

$$\text{MCTC} = \frac{W \times BM_L}{100 \times L}$$

$$\text{Momen Trim} = W \times B_1B_2$$

$$= W \times d$$

$$= 123 \times 45 \text{ ton-m}$$

$$\text{Perubahan Trim} = \frac{\text{Momen Trim}}{\text{MCTC}}$$

$$= \frac{123 \times 45}{171}$$

$$= 32,4 \text{ cm ke depan}$$

*Catatan* : Center of floatation merupakan pusat dari luas bidang air tetap berada di tengah kapal.

Draft lama	Depan	6,00 m. F	Belakang	6,00 m. A
Penambahan (Body Increasing)	Depan	0,06 m	Belakang	0,60 m
Perubahan karena trim	Depan	6,06 m	Belakang	6,06 m
Draft baru	Depan	0,16 m	Belakang	0,16
	Depan	6,22 m	Belakang	5,90 m

### **Pengaruh Penggenangan pada Stabilitas**

Telah kita pahami bahwa bila salah satu ruangan kapal tergenal, maka mean draft-nya akan bertambah. Perubahan mean draft ini menyebabkan perubahan posisi dari pusat gaya apung dan metacentre awalnya. Karena KM berubah, dan KG tetap, GM akan berubah.

### Contoh 6

Kapal bentuk kotak panjang 40 m dengan lebar 6 m, terapung di air laut even keel dengan draft 3 m, GM-nya 1 m. Hitunglah GM barunya bila salah satu ruangan kosong dengan panjang 4 m yang terletak di tengah kapal tergenang!

a. Menghitung KG

$$\begin{aligned} \text{KB} &= \frac{d}{2} \\ &= 1,5 \text{ m} \\ \text{BM} &= \frac{I}{V} \\ &= \frac{B^3}{12 \times L} \\ &= \frac{40 \times 83}{12 \times 40 \times 83} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{BM} & = & 1,78 \text{ m} \\ \text{KB} & = & 1,50 \text{ m} \\ \hline \text{KM} & = & 3,28 \text{ m} \\ \text{GM} & = & 1,00 \text{ m} \\ \hline \text{KG} & = & 2,28 \text{ m} \end{array}$$

b. Menghitung Draft Baru

$$\begin{aligned} \text{Gaya apung yang hilang} &= 4 \times 8 \times 3 \times 1,025 \text{ ton} \\ \text{TPC} &= \frac{1,025 \times 36 \times 8}{100} \\ &= \frac{1,025 \times 36 \times 8}{100} \\ &= 2,95 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Penambahan draft} &= \frac{\text{Gaya apung yang hilang}}{\text{TPC}} \\
&= 4 \times 8 \times 3 \times 1,025 \times \frac{100}{36 \times 8 \times 1,025} \\
&= 33,3
\end{aligned}$$

Penambahan draft juga dapat dihitung dengan cara berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Penambahan draft} &= \frac{\text{Volume gaya apung yang hilang}}{\text{Luas bidang air yang utuh}} \\
&= \frac{4 \times 8 \times 3}{36 \times 8} \\
&= \frac{1}{3} \text{ m} \\
\text{Draft semula} &= 3,000 \text{ m} \\
\text{Draft baru} &= 3,333 \text{ m}
\end{aligned}$$

c. Menghitung GM baru

$$\begin{aligned}
\text{KB} &= \frac{d}{2} \\
&= 1,67 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\text{BM} = \frac{I}{V}$$

Dimana, I adalah momen kedua dari bidang air yang utuh sekitar centre line

$$\begin{aligned}
&= \frac{LB^3}{12 \times V} \\
&= \frac{36 \times 83}{12 \times 40 \times 8 \times 3} \\
&= 1,60 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\text{KB} = 1,67 \text{ m}$$

$$\text{KM} = 3,27 \text{ m}$$

$$\text{KG} = 2,28 \text{ m}$$

$$\text{GM akhir} = 0,99 \text{ m}$$

### **11.3 DAFTAR PUSTAKA**

Hugo Nano Ansanay, 2015 Dasar-Dasar Stabilitas Kapal, Jakarta

SCTW 1995 Amandemen Manila 2010

Soegiyanto, 2008 Stabilitas Kapal, PIP Semarang

Supriyono Hadi, 2013 Stabilitas Kapal, PIP Semarang

Wakidjo, 1972 Stabilitas Kapal, Jakarta