

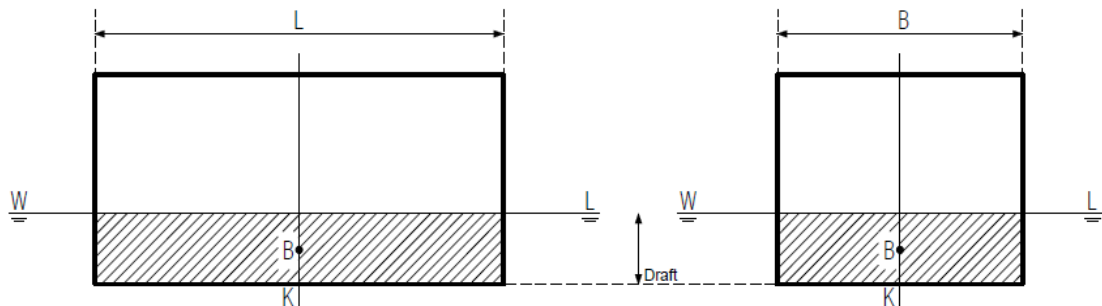
PERHITUNGAN KB, BM DAN DIAGRAM METACENTER

1 PERHITUNGAN KB

CoB (Center of Buoyancy) adalah titik tangkap volume lambung kapal di bawah air, atau volume displacement (V_{disp}), atau titik tangkap daya apung dari bangunan apung, biasa disebut sebagai titik B. Untuk bangunan apung sederhana berbentuk kotak dengan lunas rata seperti tertera di Gambar 1, volume displacement berbentuk persegi 1 panjang dan titik B berada di midship (sumbu X), pada centerline (sumbu Y), dan setengah draft (sumbu Z), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Oleh karena itu, untuk bangunan berbentuk kotak dengan lunas rata: $KB = \frac{1}{2}$ draft.

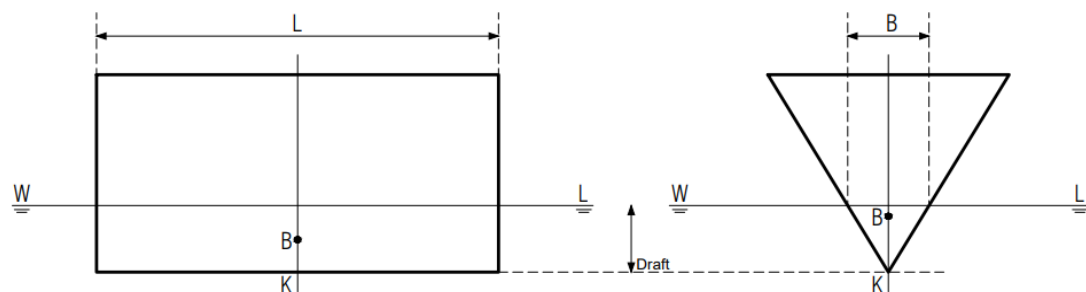
Untuk bangunan apung yang berbentuk prisma segitiga, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, volume displacement juga akan berbentuk prisma segitiga. Seperti yang kita tahu, titik pusat segitiga berada di dua pertiga dari segitiga. Oleh karena itu, titik B berada di midship (sumbu X), di centerline (sumbu Y), dan $KB = \frac{2}{3}$ draft (sumbu Z).

(a)



Gambar 1. Titik B pada Bangunan Apung Berbentuk Box

(b)



Gambar 2. Titik B pada Bangunan Apung Berbentuk Prisma Segitiga

Untuk bentuk kapal yang umum, KB dapat diperkirakan dengan cukup akurat menggunakan Simpson's Rules, seperti yang dijelaskan di TBA 1. Perkiraan KB di bawah garis air biasanya terletak antara 0.44T hingga 0.49T. Perkiraan yang lebih dekat dari kedalaman ini dapat diperoleh dengan menggunakan rumus Morrish, yang menyatakan:

$$\overline{KB} = \frac{1}{3} \left(\frac{T}{2} + \frac{V_{disp}}{WPA} \right) \dots (1)$$

Dimana:

- \overline{KB} = Jarak dari Keel ke titik B (m)
- T = Draft (m)
- V_{disp} = Volume displacement (m³)
- WPA = Waterplane Area (m²)

2 PERHITUNGAN BMT

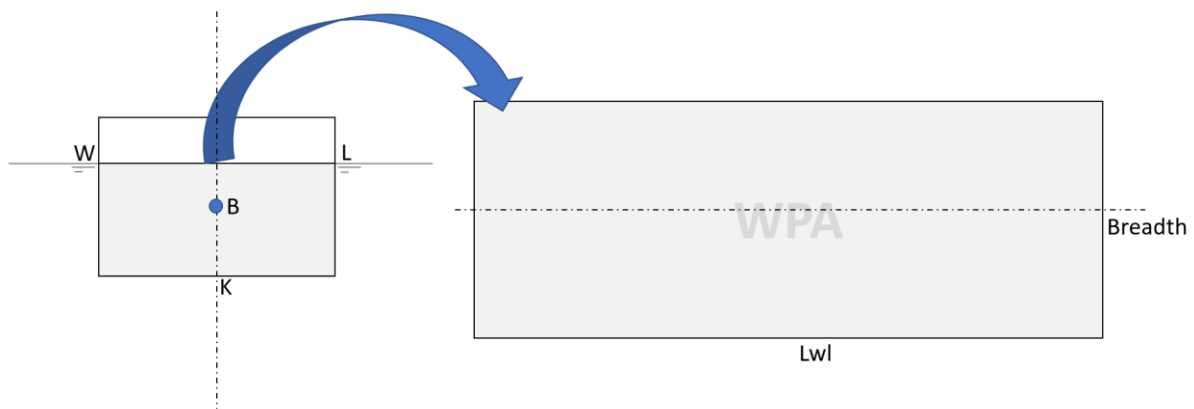
BMT merupakan jari-jari metacenter yang diukur dari titik B ke titik Metacenter (M) dari penampang transversal bangunan apung. BMT dihitung dengan formula:

$$\overline{BM}_T = \frac{I}{V_{disp}} \dots (2)$$

Dimana:

- \overline{BM}_T = Jari-jari Metacenter Transversal
- I = Second moment of waterplane area (m⁴)
- V_{disp} = Volume displacement (m³)

Maka untuk bangunan apung box sederhana dengan WPA berupa persegi, seperti tertera di Gambar 3 berikut ini, maka WPA = Lwl x Breadth.



Gambar 3. Bangunan Apung Berbentuk Box dengan WPA Persegi (Lwl x B)

Dan second moment of inertia dari WPA di atas adalah:

$$I = \frac{L_{wl} \times B^3}{12} \dots (3)$$

Dan \overline{BM}_T dari bangunan apung di Gambar 3 adalah:

$$\begin{aligned}\overline{BM}_T &= \frac{I}{V} \\ &= \frac{L_{WL} \times B^3}{12 \times V} \\ &= \frac{L_{WL} \times B^3}{12 \times L_{WL} \times Breadth \times T} \\ \overline{BM}_T &= \frac{B^2}{12T} \dots (4)\end{aligned}$$

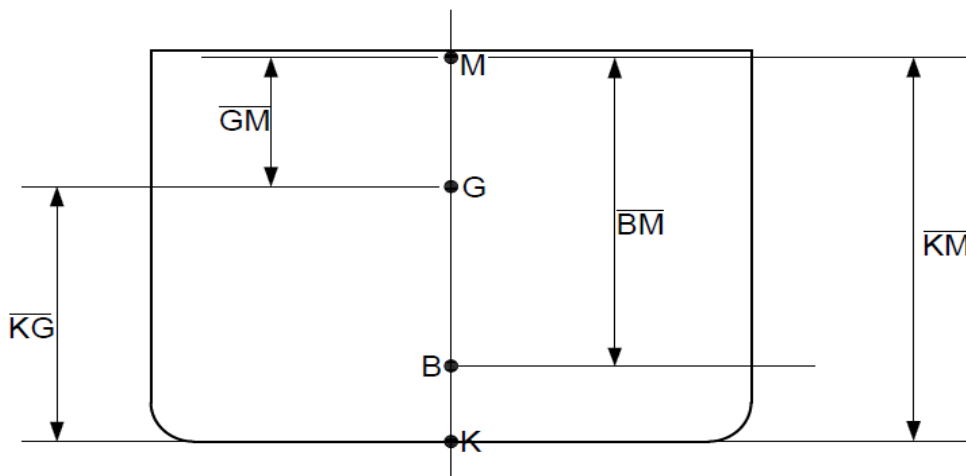
Sedangkan untuk bangunan apung berbentuk prisma segitiga, nilainya separuh dari

$$\begin{aligned}\overline{BM}_T &= \frac{I}{V} \\ &= \frac{L_{WL} \times B^3}{12 \times V} \\ &= \frac{L_{WL} \times B^3}{12 \times \frac{1}{2} \times L_{WL} \times Breadth \times T} \\ \overline{BM}_T &= \frac{B^2}{6T} \dots (4)\end{aligned}$$

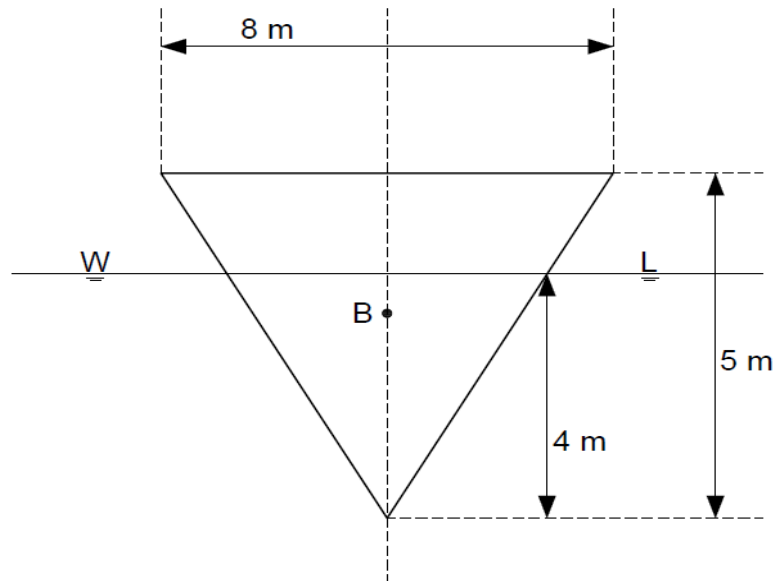
Contoh Perhitungan \overline{BM}_T

- Bangunan apung box sederhana memiliki $L \times B \times H = 25 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ mengapung dengan draft $T = 2 \text{ m}$. Diketahui $\overline{KG} = 1.5 \text{ m}$, hitung tinggi metacenter awal!

$\overline{KB} = \frac{1}{2} \times T$	$\overline{BM}_T = \frac{B^2}{12T}$	$\overline{KB} = 1 \text{ m}$
$\overline{KB} = 1 \text{ m}$	$\overline{BM}_T = \frac{5^2}{12 \times 2}$	$\overline{BM} = +1.04 \text{ m}$
	$\overline{BM}_T = 1.04 \text{ m}$	$\overline{KM} = \overline{KB} + \overline{BM} = 2.04 \text{ m}$
		$\overline{KG} = 1.50 \text{ m}$
		$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG} = 0.54 \text{ m}$



2. Bangunan apung dengan bentuk prisma segitiga memiliki $L = 32$ m, dengan $H = 5$ m, memiliki lebar $B = 8$ m. Final $KG = 3.7$ m, seperti tertera pada Gambar 4 berikut. Tentukan tinggi metacenter awal ketika even keel saat $T = 4$ m!



Gambar 4. Contoh Soal 2

- a) Menentukan Breadth kapal saat di $T = 4$ m,

$$\frac{B_{4m}}{8} = \frac{4}{5}$$

$$B_{4m} = \frac{32}{5}$$

$$B_{4m} = 6.4 \text{ m}$$

$$\overline{KB} = \frac{2}{3} \times T$$

$$\overline{KB} = 2.67 \text{ m}$$

$$\overline{BM}_T = \frac{B^2}{6T}$$

$$\overline{BM}_T = \frac{6.4^2}{6 \times 4}$$

$$\overline{BM}_T = 1.71 \text{ m}$$

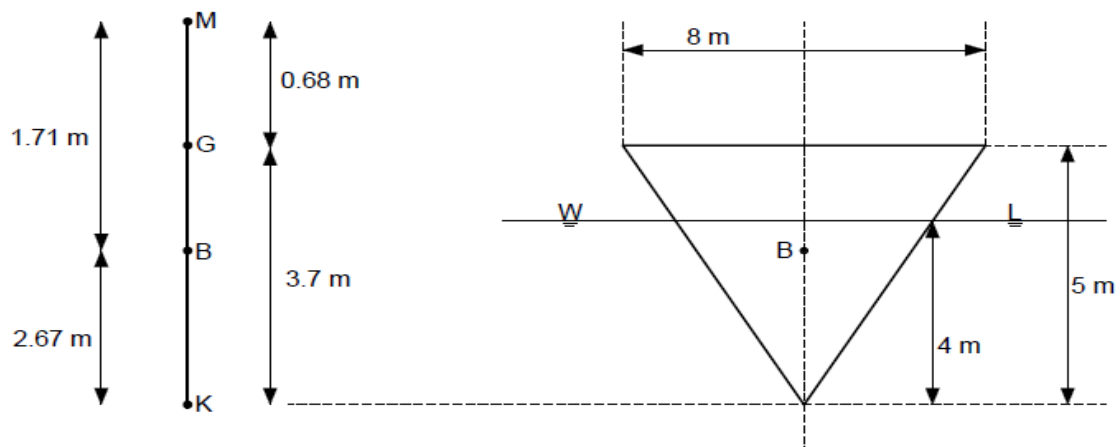
$$\overline{KB} = 2.67 \text{ m}$$

$$\overline{BM} = +1.714 \text{ m}$$

$$\overline{KM} = \overline{KB} + \overline{BM} = 4.38 \text{ m}$$

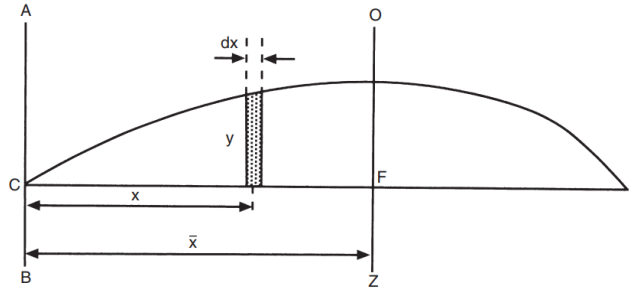
$$\overline{KG} = 3.70 \text{ m}$$

$$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG} = \mathbf{0.68 \text{ m}}$$



3. Di $T = 8$ m, kapal patrol memiliki $L_{WL} = 18$ m, dengan half ordinates sebagai berikut: 0, 1.2, 1.5, 1.8, 1.5, 1.2 m, dengan interval 3 m. Diketahui $KG = 3.2$ m, $Breadth = 3.6$ m, $C_B = 0.65$. Tentukan tinggi metacenter awal!

STEP 1. Menggambar sketsa WPA dan titik-titik penting seperti Gambar 5 di bawah ini:



Gambar 5. Sketsa WPA

STEP 2. Menentukan WPA dan karena titik tumpu heeling kapal terletak di L_{CF} , $I_{WPA} = I_{OZ}$ yang merupakan second moment of inezrtia WPA terhadap axis transversal yang memotong L_{CF} (lihat Gambar 5), menggunakan persamaan Simpson (ingat Mata Kuliah TBA 1!):

$\frac{1}{2}$ ord	SM	Area Function	Lever	Moment Function	Lever	Inertia Function
0	1	0	-3 (FP)	0	-3 (FP)	0
1.2	4	4.8	-2	-9.6	-2	+19.2
1.5	2	3.0	-1	-3.0	-1	+3.0
1.8	4	7.2	0	0	0	0
1.8	2	3.6	1	+3.6	1	+3.6
1.5	4	6.0	2	+12.0	2	+24.0
1.2	1	1.2	3 (AP)	+3.6	3 (AP)	+10.8
		$\Sigma_1=25.8$			$\Sigma_2= +6.6$	$\Sigma_3= 60.6$

$$WPA = \frac{1}{3} \times interval \times \Sigma_1 \times 2$$

$$WPA = \frac{1}{3} \times \frac{18}{6} \times 25.8 \times 2$$

$$WPA = 51.6 \text{ m}^2$$

STEP 3. Menghitung L_{CF}

$$L_{CF} = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1} \times interval$$

$$L_{CF} = \frac{6.6}{25.8} \times \frac{18}{6}$$

$$L_{CF} = 0.77 \text{ m (di belakang midship)}$$

STEP 4. Menghitung I_{OZ}

$$I_{midship} = \frac{1}{3} \times \Sigma_3 \times (interval)^3 \times 2 = \frac{1}{3} \times 60.6 \times 3^3 \times 2$$

$$I_{midship} = 1090.8 \text{ m}^4$$

Dengan menggunakan teorema parallel axis:

$$I_{OZ} = I_{midship} - WPA \times (L_{CF})^2$$

$$I_{OZ} = 1090.8 - 5.16 \times (0.77)^2$$

$$I_{OZ} = 1060 m^4$$

STEP 5. Menentukan perkiraan KB dengan Persamaan (1)

$$\overline{KB} = \frac{1}{3} \left(\frac{T}{2} + \frac{L_{WL} \times Breadth \times Draft \times C_B}{WPA} \right)$$

$$\overline{KB} = \frac{1}{3} \left(\frac{8}{2} + \frac{18 \times 3.6 \times 8 \times 0.65}{51.6} \right)$$

$$\overline{KB} = \frac{1}{3} (4 + 6.53) = 3.51 m$$

STEP 6. Menentukan \overline{BM}_T

$$\overline{BM}_T = \frac{I_{OZ}}{V_{disp}}$$

$$\overline{BM}_T = \frac{1060}{18 \times 3.6 \times 8 \times 0.65}$$

$$\overline{BM}_T = \frac{1060}{336.96} = 3.15 m$$

STEP 7. Menentukan tinggi metacenter awal:

$$\overline{KB} = 3.51 m$$

$$\overline{BM} = 3.14 m$$

$$\overline{KM} = \overline{KB} + \overline{BM} = 6.65 m$$

$$\overline{KG} = 3.20 m$$

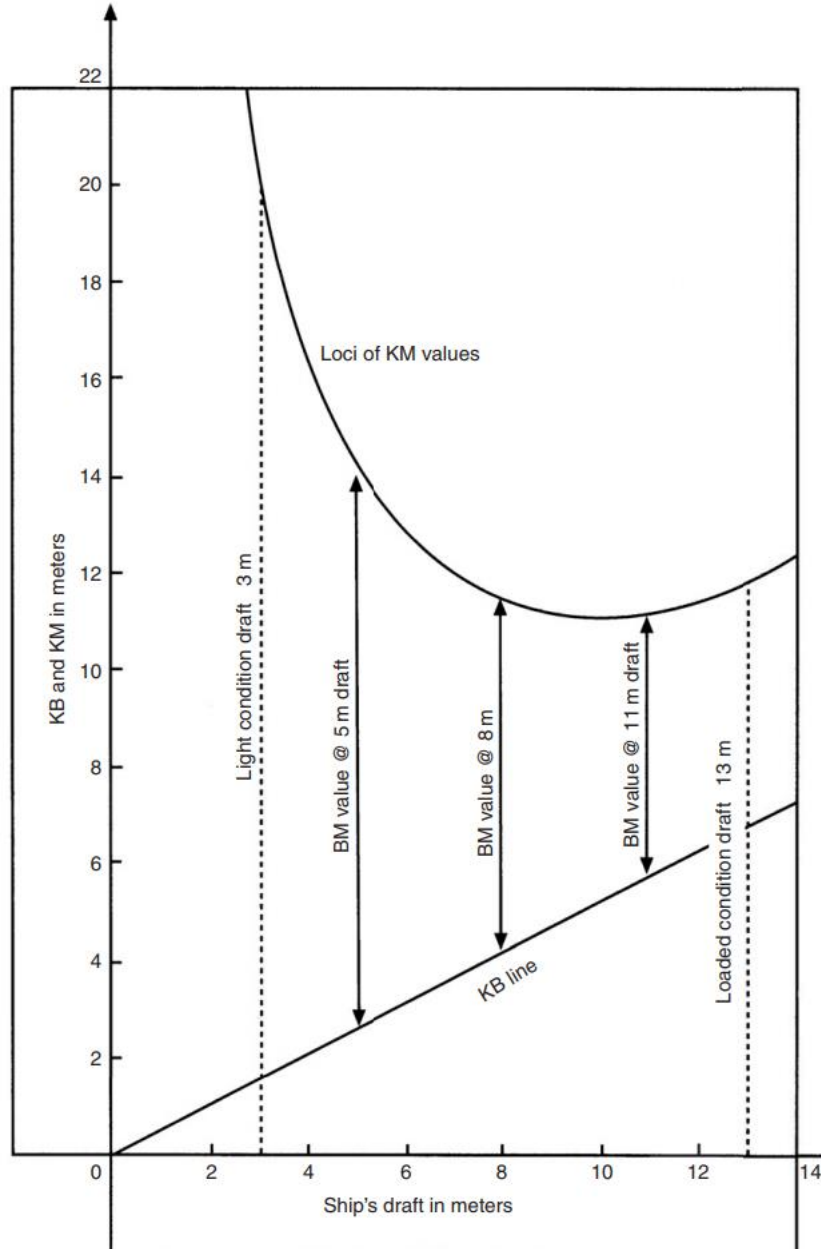
$$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG} = 3.45 m$$

3 PERHITUNGAN DAN PLOTTING DIAGRAM METACENTER

Telah disebutkan di Kuliah 03 sebelumnya bahwa engineer dan kapten adalah petugas yang bertanggung jawab untuk mengatur muatan kapal agar nilai GM_T yang dihasilkan tidak terlalu besar atau terlalu kecil (nilai tipikal GM_T dapat dilihat di Lecture Notes 02).

Nilai GM_T di kapal umumnya diatur oleh kapten dengan memeriksa Diagram Metacenter, yaitu gambar dalam bentuk grafik, yang nilai KB, BM_T , dan KM_T dapat ditemukan untuk setiap draft. Jika nilai KG diketahui dan KM_T ditemukan dari diagram, perbedaannya akan memberi GM_T .

Selain itu, jika GM_T terkoreksi (akibat FSC) telah dihitung, KM_T dapat diambil dari grafik dan perbedaannya akan memberikan nilai KG akhir yang diperlukan. Diagram biasanya digambar untuk draft terendah (light load) hingga draft tertinggi (full load). Gambar 6 di bawah ini memberikan contoh diagram KB dan KM_T untuk kapal dari draft terendah ke draft tertinggi, yaitu masing-masing 3 dan 13 m.



Gambar 6. Diagram Metacenter untuk Kapal dari draft 3-13 m

Gambar 6 di atas memberikan Diagram Metacenter yang diplot dari Tabel 1 di bawah ini.

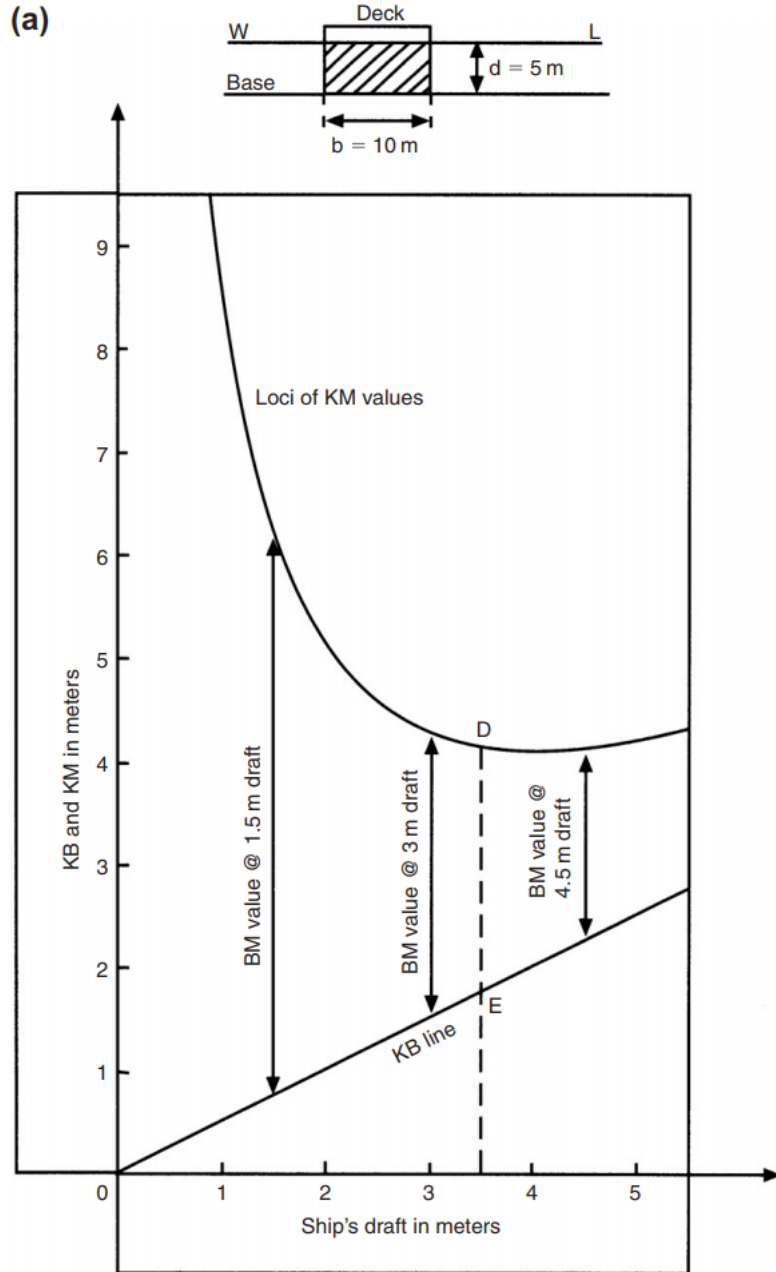
Tabel 1. Perhitungan KB dan KM pada draft 3-13 m

Draft (m)	KB (m)	KM (m)
13	6.65	11.60
12	6.13	11.30
11	5.62	11.14
10	5.11	11.10
9	4.60	11.15
8	4.10	11.48
7	3.59	11.94
6	3.08	12.81
5	2.57	14.30
4	2.06	16.63
3	1.55	20.54
—	—	—

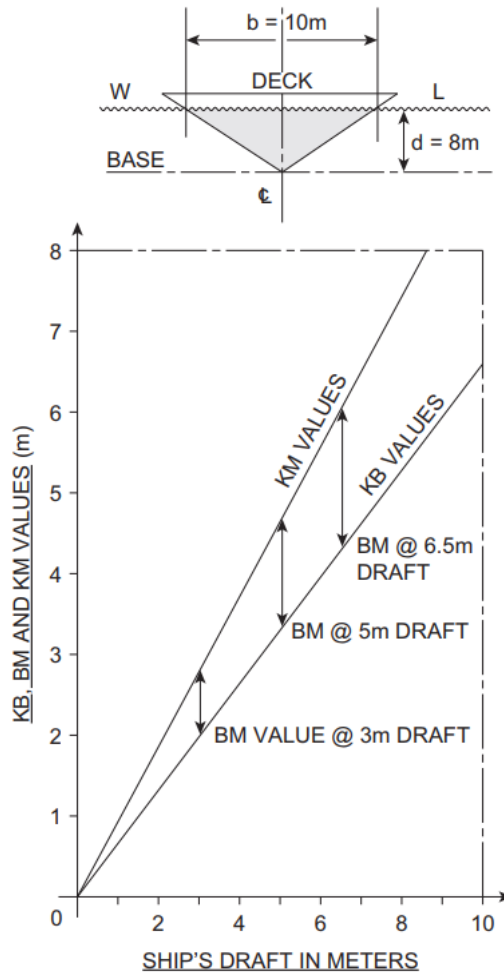
Di Gambar 6, skala di sisi kiri mewakili KB dan KM_T , dengan satuan meter. Berikut adalah cara pembuatan grafiknya: pertama, kurva KB diplot berdasarkan data yang ada di Tabel 1. Untuk setiap draft plot KB yang sesuai. Misalnya, plot 6.65 m pada draft 13 m, 6.13 m pada draft 12 m dan seterusnya sampai 1.55 m pada draft 3 m. Gabungkan titik-titik ini untuk membentuk kurva KB. Dalam praktiknya, garis tersebut akan sangat dekat dengan garis lurus karena kelengkungannya sangat kecil.

Berikutnya adalah kurva KM_T atau lokus metasenter. Untuk setiap draft, nilai KM_T yang sesuai diberikan pada Tabel 1. Pada 13 m plot 11.60 m. Pada 12 m plot 11.30 m dan seterusnya hingga plot 20.54 m pada draft 3 m. Titik-titik ini kemudian digabungkan dengan kurva halus. Perhatikan terdapat kemungkinan dua draft berbeda untuk memiliki nilai KM_T yang sama untuk range draft dari 7 hingga 13 m. Untuk mendapatkan nilai BM_T pada draft tertentu, kita tinggal mengukur jarak vertikal antara garis KB dan kurva KM_T .

Gambar 7 berikut menjelaskan tentang nilai KB dan KM_T untuk bangunan apung berbentuk box dan Gambar 8 menjelaskan tentang bangunan apung berbentuk prisma segitiga.



Gambar 7. Diagram Metacenter untuk Bangunan Apung Berbentuk Box



Gambar 8. Diagram Metacenter untuk Bangunan Apung Berbentuk Prisma Segitiga

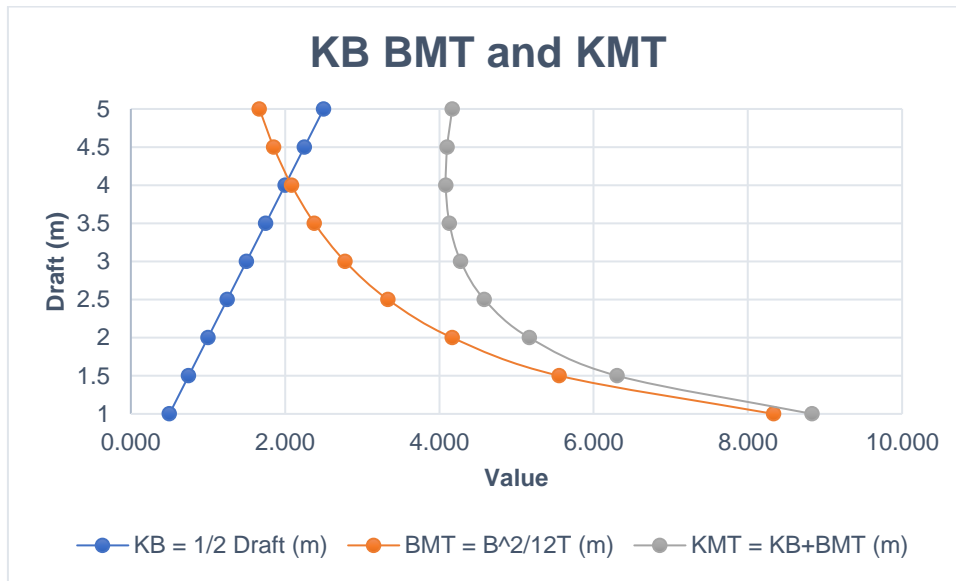
Contoh;

1. Buatlah diagram metacenter untuk bangunan apung berbentuk box dengan $L = 64$ m, $B = 10$ m, dan $H = 6$ m, untuk even keel draft dari light load Draft = 1 m ke full load Draft = 5 m. Interval 0.5 m!
 - a. Menghitung KB BMT dan KMT untuk tiap-tiap draft

Tabel 2. Tabel Perhitungan KB BMT dan KMT

Draft (m)	KB = 1/2 Draft (m)	BMT = $B^2/12T$ (m)	KMT = KB+BMT (m)
1	0.500	8.333	8.833
1.5	0.750	5.556	6.306
2	1.000	4.167	5.167
2.5	1.250	3.333	4.583
3	1.500	2.778	4.278
3.5	1.750	2.381	4.131
4	2.000	2.083	4.083
4.5	2.250	1.852	4.102
5	2.500	1.667	4.167

- b. Melakukan plotting pada grafik dengan axis X adalah nilai KB BMT dan KMT dalam satuan meter, dan axis Y adalah nilai draft dengan satuan meter.



Gambar 9. KB BMT dan KMT