

Table of Contents

01-08 Slides	7
1 01. INTRO	7
1.1 TEORI BANGUNAN APUNG 2	7
1.2 Raditya Danu Riyanto, ST. MT.	8
1.3 IS IT ENOUGH FOR SHIP JUST TO FLOAT?	9
1.4 WHAT'S YOUR OPINION?	10
1.5 STABILITY!	11
1.6 THE IMPORTANCE OF SHIP STABILITY	12
1.7 WHAT MAKES SHIP UNSTABLE?	13
1.8 TOPICS-SHIP STABILITY	14
1.9 Class Terms	15
2 02. STATIC TRANSVERSE STABILITY	16
2.1 TEORI BANGUNAN APUNG 2	16
2.2 HEEL VS LIST	17
2.3 TRANSVERSE STABILITY	18
2.4 TOPICS	19
2.5 THE METACENTER	20
2.6 THE METACENTER	21
2.7 LINEAR MEASUREMENT IN STABILITY	22
2.8 THE RIGHTING COUPLE	23
2.9 CALCULATING RIGHTING ARM	24
2.10 CALCULATING RIGHTING MOMENT	25
2.11 WHAT MAKES SHIP (A) ROLLS OVER AND SHIP (B) SURVIVED?	26
2.12 THE STABILITY EQUILIBRIUM (1)	27
2.13 THE STABILITY EQUILIBRIUM (2)	28
2.14 THE STABILITY EQUILIBRIUM (3)	29
2.15 CORRECTING UNSTABLE AND NEUTRAL EQUILIBRIUM	30
2.16 Negative GM and Angle of Loll	31
2.17 "STIFF" AND "TENDER" SHIP	32
2.18 PERFECTLY COMFORTABLE SHIP	33
2.19 TYPICAL GM VALUE FOR SHIPS	34
3 04. TPC AND DISPLACEMENT CURVE	35
3.1 TEORI BANGUNAN APUNG 2	35
3.2 WHAT IS TPC?	36
3.3 Constructing a TPC Curve	37
3.4 Example	38
3.5 Answer	39
3.6 Answer	40
3.7 Answer	41
3.8 Constructing a Displacement Curve	42
3.9 Example	43
3.10 Answer	44
3.11 Answer	45

3.12 Answer	46
3.13 Answer	47
3.14 Answer	48
3.15 Answer	49
3.16 Question?	50
4 05. KB BM AND METACENTRIC DIAGRAM	51
4.1 Calculating KB, BM, and Metacentric Diagrams	51
4.2 Learning Purpose	52
4.3 Calculating KB	53
4.4 Calculating KB	54
4.5 Calculating BMT	55
4.6 Slide 6	56
4.7 Calculating BMT	57
4.8 Contoh 1: BMT bangunan box sederhana	58
4.9 Contoh 2: BMT bangunan prisma	59
4.10 Final Result	60
4.11 Contoh 3: BMT bangunan kapal	61
4.12 Contoh 3: BMT bangunan kapal	62
4.13 Contoh 3: BMT bangunan kapal	63
4.14 Contoh 3: BMT bangunan kapal	64
4.15 Contoh 3: BMT bangunan kapal	65
4.16 Contoh 3: BMT bangunan kapal	66
4.17 Contoh 3: BMT bangunan kapal	67
4.18 Diagram Metacenter	68
4.19 Contoh Diagram Metacenter	69
4.20 Contoh Diagram Metacenter	70
4.21 Question?	71
5 06. LISTING-1	72
5.1 Listing (1): Explanation and example	72
5.2 Learning Purpose	73
5.3 Apa itu angle of list?	74
5.4 Apa penyebab list?	75
5.5 Penyebab list	76
5.6 Penyebab list (2)	77
5.7 Bagaimana cara menghitung perpindahan titik berat (GG1)?	78
5.8 Problem 1	79
5.9 Problem 1	80
5.10 Problem 1 key takeaways	81
5.11 Problem 2: angle of list ketika pemindahan muatan horizontal	82
5.12 Problem 2: angle of list ketika pemindahan muatan horizontal	83
5.13 Problem 2: angle of list ketika pemindahan muatan horizontal	84
5.14 Problem 2: angle of list ketika pemindahan muatan horizontal	85
5.15 Problem 2: angle of list ketika pemindahan muatan horizontal	86
5.16 Problem 3: angle of list pada perpindahan muatan curah	87
5.17 Problem 3: angle of list pada perpindahan muatan curah	88

5.18	Problem 3: angle of list pada perpindahan muatan curah	89
5.19	Problem 3: angle of list pada perpindahan muatan curah	90
5.20	Problem 4	91
5.21	Questions?	92
6	07. LISTING (2)	93
6.1	Listing (2): - Deck Crane Lifting - Angle of Loll	93
6.2	Learning Purpose	94
6.3	Problem 5: angle of list while deck crane in operation	95
6.4	Problem 5: angle of list while deck crane in operation	96
6.5	Problem 5: angle of list while deck crane in operation	97
6.6	Problem 5: angle of list while deck crane in operation	98
6.7	Problem 5: angle of list while deck crane in operation	99
6.8	Problem 5: angle of list while deck crane in operation	100
6.9	Kesimpulan dari 5 contoh di atas	101
6.10	Perhitungan angle of Loll	102
6.11	Perhitungan angle of loll	103
6.12	Angle of list vs angle of loll	104
6.13	Angle of list vs angle of loll	105
6.14	Questions?	106
7	08. MOMENT OF STATIC STABILITY	107
7.1	Moment of static stability	107
7.2	Learning Purpose	108
7.3	Moment of static stability at small angle of heels	109
7.4	Moment of static stability at small angle of heels – segitiga stabilitas	110
7.5	Moment of static stability at small angle of heels – momen pengembali	111
7.6	Moment of static stability at small angle of heels – contoh problem	112
7.7	Moment of static stability at large angle of heels	113
7.8	Moment of static stability at large angle of heels - example	114
7.9	Moment of static stability at large angle of heels - example	115
7.10	Questions?	116
09.	TRIM 1	117
1	TRIM(1): Intro and MTC	117
2	Lesson objectives	118
3	Apa itu trim?	119
4	Even Keel	120
5	Trim by stern	121
6	Trim by bow	122
7	Apa penyebab trim?	123
8	Slide 8	124
9	Slide 9	125
10	Perhitungan BML pada box sederhana	126
11	Perhitungan BML pada box sederhana	127
12	MTC	128
13	Slide 13	129
14	Perubahan draft akibat trim	130

15	Contoh 1: menentukan perubahan draft karena perpindahan muatan di atas kapal	131
16	Contoh 1: menentukan perubahan draft karena perpindahan muatan di atas kapal	132
17	Contoh 1: menentukan perubahan draft karena perpindahan muatan di atas kapal	133
18	Menghitung MTC dan perubahan trim pada bangunan apung box sederhana	134
19	Menghitung MTC dan perubahan trim pada bangunan apung box sederhana	135
20	Menghitung MTC dan perubahan trim pada bangunan apung box sederhana	136
21	Menghitung MTC dan perubahan trim pada bangunan apung box sederhana	137
22	Question?	138
10.	TRIM 2	139
1	TRIM(2): Penambahan dan Pengurangan Muatan	139
2	Lesson objectives	140
3	Ketika muatan ditambahkan tepat di atas LCF	141
4	Ketika muatan dipindahkan dari LCF	142
5	Persoalan 1: Penambahan muatan	143
6	Persoalan 1: Penambahan muatan	144
7	Persoalan 1: Penambahan muatan	145
8	Persoalan 1: Penambahan muatan	146
9	Persoalan 2: Pengurangan muatan	147
10	Persoalan 2: Pengurangan muatan	148
11	Kata kunci: Penambahan muatan	149
12	Kata kunci: Pengurangan muatan	150
13	Contoh 3: Gabungan	151
14	Contoh 3: Gabungan	152
15	Contoh 3: Gabungan	153
16	Question?	154
11.	TRIM 3	155
1	TRIM(3): Menentukan jumlah dan jarak muatan untuk memenuhi persyaratan draft tertentu	155
2	Lesson objectives	156
3	Pada umumnya kapal memiliki draft AP yang lebih tinggi daripada FP	157
4	Ketika muatan diletakkan tepat di atas LCF, draft akan bertambah secara uniform	158
5	Padahal, draft di AP harus dijaga agar konstan di nilai tertentu	159
6	Sehingga muatan harus dipindah ke depan LCF agar dapat mengembalikan trimnya seperti semula	160
7	Berapa jarak yang dibutuhkan?	161
8	Jarak perpindahan agar draft terjaga:	162
9	Contoh:	163
10	Question?	164
12.	TRIM 4	165
1	TRIM(4): Menentukan GML dari perubahan draft akibat trim	165
2	Lesson objectives	166
3	Slide 3	167
4	Slide 4	168
5	Contoh	169
13.	TRIM + LIST	170
1	TRIM + LIST Bagaimana jika kedua kasus ini terjadi bersamaan?	170

2	TRIM + LIST	171
3	TRIM + LIST	172
4	CONTOH KASUS	173
5	CONTOH KASUS	174
6	CONTOH KASUS	175
7	CONTOH KASUS	176
8	CONTOH KASUS	177
9	CONTOH KASUS	178
10	CONTOH KASUS	179
11	Question?	180
14.	STABILITY CURVE	181
1	Stability Curve	181
2	Static Stability Curve	182
3	What happened throughout the curve?	183
4	What happened throughout the curve?	184
5	What happened throughout the curve?	185
6	What happened throughout the curve?	186
7	What happened throughout the curve?	187
8	What happened throughout the curve?	188
9	What happened throughout the curve?	189
10	What happened throughout the curve?	190
11	Static Stability Curve vs Heeling Moment	191
12	IMO Criteria for Stability Curve	192
13	Question?	193
15.	HYDROSTATIC AND BONJEAN CURVE	194
1	HYDROSTATIC & BONJEAN CURVE	194
2	KURVA HIDROSTATIK & BONJEAN	195
3	KURVA HIDROSTATIK	196
4	Waterplane Area and LCF	197
5	Example	198
6	Midship Section Area	199
7	Wetted Surface Area	200
8	Volume Properties	201
9	Coefficient Properties	202
10	Derived Values – TPC (Ton per Centimeter immersion)	203
11	Derived Values – MTC (moment to change trim by 1 m)	204
12	Produk Akhir	205
13	Slide 13	206
10.	TRIM 2 - Lecture Notes	207
1	1 Efek penambahan/pengurangan muatan terhadap trim	207
1.1	1.1 Contoh 1: menentukan draft baru di AP dan FP setelah ditambah muatan	207
1.2	1.2 Contoh 2: menentukan draft baru di AP dan FP setelah dikurangi muatan	209
1.3	1.3 Contoh 3: Gabungan penambahan dan pengurangan muatan	210
11.	TRIM 3 - Lecture Notes	212
12.	TRIM 4 - Lecture Notes	214

13. Combined TRIM and LIST	216
1 Combined Trim and List	216
1.1 Contoh Kasus	216

TEORI BANGUNAN APUNG 2

Raditya Danu Riyanto
Departemen Teknik Kelautan
FTK ITS
2020

LECTURER

Raditya Danu Riyanto, ST. MT.

 @danuradityaa  <https://youtube.com/radityadanu>

 @raditya.danu  <https://www.linkedin.com/in/radityadanu>



Education

- Master : ITS Surabaya 2013-2015, Offshore Structure Engineering
- Bachelor : ITS Surabaya 2010-2015, Ocean Engineering

Research Interest

- Finite Element Methods
- Ocean & Wave Structures Response
- Structural Dynamics
- Deepwater structures

Publications

Developing the Structural Integrity Management System for Ageing Fixed Offshore Oil Platforms in Indonesia

*Published in Applied Mechanics and Materials (ISSN 1662-7482) Vol. 862, Jan 18, 2017:
"Developing the Structural Integrity Management System for Ageing Fixed Offshore Oil Platforms in Indonesia"*

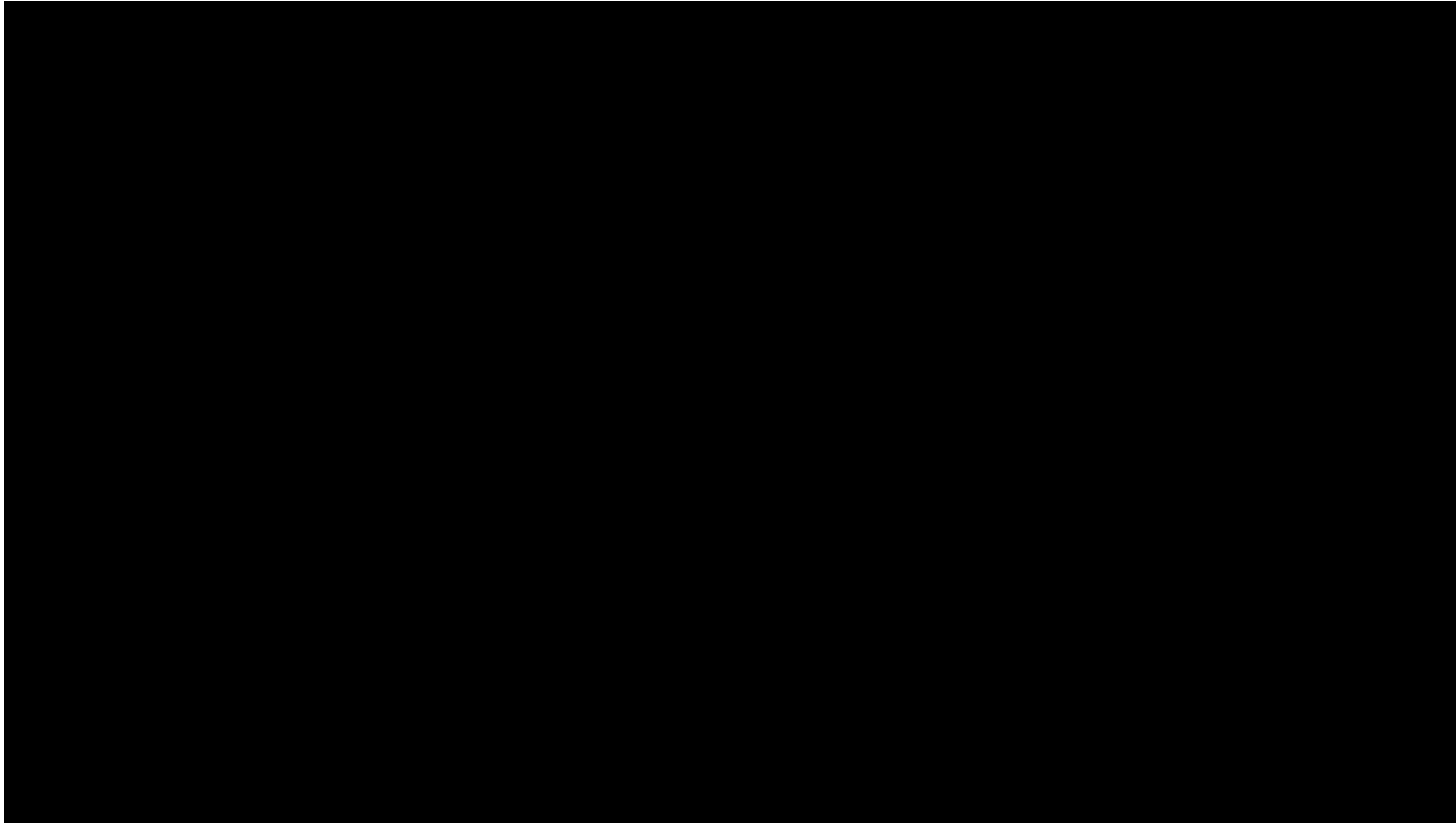
Design of Corrugated Plate as Blast Resistant Wall

Published in Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace (ISSN 2354-7065) Vol. 21, July 28, 2015: "Numerical Study on the Effect of Horizontally Installed Corrugated Plate Boundary Condition under Blast Load"

Let's start with this question:

**IS IT ENOUGH FOR
SHIP JUST TO FLOAT?**

WHAT'S YOUR OPINION?



Does it float? Yes!
Does it operate safely? No!
So...
What's wrong?



STABILITY!

THE IMPORTANCE OF SHIP STABILITY

According to Hanzu-Pazara et.al. (2016)*, a ship to be seaworthy when it comes to stability if:

While at sea, the ship shall never be unstable when upright at the beginning or at the end of any given voyage

The worst conjunction of wind and waves that can possible be encountered during the given voyage shall not cause the ship to roll beyond the safe effective range of heel

*<https://doi.org/10.1088/1757-899X/145/8/082019>

WHAT MAKES SHIP UNSTABLE?

Two of the most relevant reasons which endanger the initial stability of a ship are:

When under the action of wave and wind pressure, the ship is very easily heeled.

When a certain course is maintained and is a great tendency for cargo to shift so that the angle of heel is continuously increasing and tends to become greater.

TOPICS-SHIP STABILITY

1. Review on Basic Naval Architecture Principles
2. The static transverse stability
3. Effect of Free Surface of Liquids in Stability
4. TPC and Displacement Curve
5. Calculating KG, KB, BM and Metacentric Diagram
6. Listing
7. Moment of Static Stability
8. Trim
9. Combined Trim and List
10. Stability and Hydrostatic Curve

Please download the corresponding lesson plan on your classroom page!

Class Terms

1. General

Item	Desc.
Mata Kuliah	Teori Bangunan Apung 2
Kode	MO184304
Pengajar	Raditya Danu Riyanto, ST, MT
Semester	Ganjil 2020/2021
Hari Pertemuan	Rabu 10.00 – 12.00
Tempat Pertemuan	Online Classes (classroom.its.ac.id)
Jumlah Pertemuan	20 Sections including Mid and Final Term
Language	Learning Materials: English (80%) Bahasa Indonesia (20%) Sync and Async Speech: Bahasa Indonesia Tasks: Bahasa Indonesia (Using English will be considered better)

Nilai Angka	Nilai Huruf	Keterangan
86-100	A = 4	Istimewa
76-85	AB = 3.5	Baik Sekali
66-75	B = 3	Baik
61-65	BC = 2.5	Cukup Baik
56-60	C = 2	Cukup
41-55	D = 1	Kurang
0-40	E = 0	Kurang Sekali

2. Pembobotan Nilai

Item	Deskripsi
Tugas (<i>best 4</i>)	30%
UTS	25%
UAS	35%
Partisipasi	10%

LESSON 2: STATIC TRANSVERSE STABILITY

TEORI BANGUNAN APUNG 2

Raditya Danu Riyanto
Departemen Teknik Kelautan
FTK ITS
2020

HEEL VS LIST

Heel
(external)

- A ship is said to be heeled when she is inclined by an external force. For example, when the ship is inclined by the action of the waves or wind.

List
(internal)

- A ship is said to be listed when she is inclined by forces within the ship. For example, when the ship is inclined by shifting a weight transversely within the ship. This is a fixed angle of heel

TRANSVERSE STABILITY



TOPICS

The Metacenter

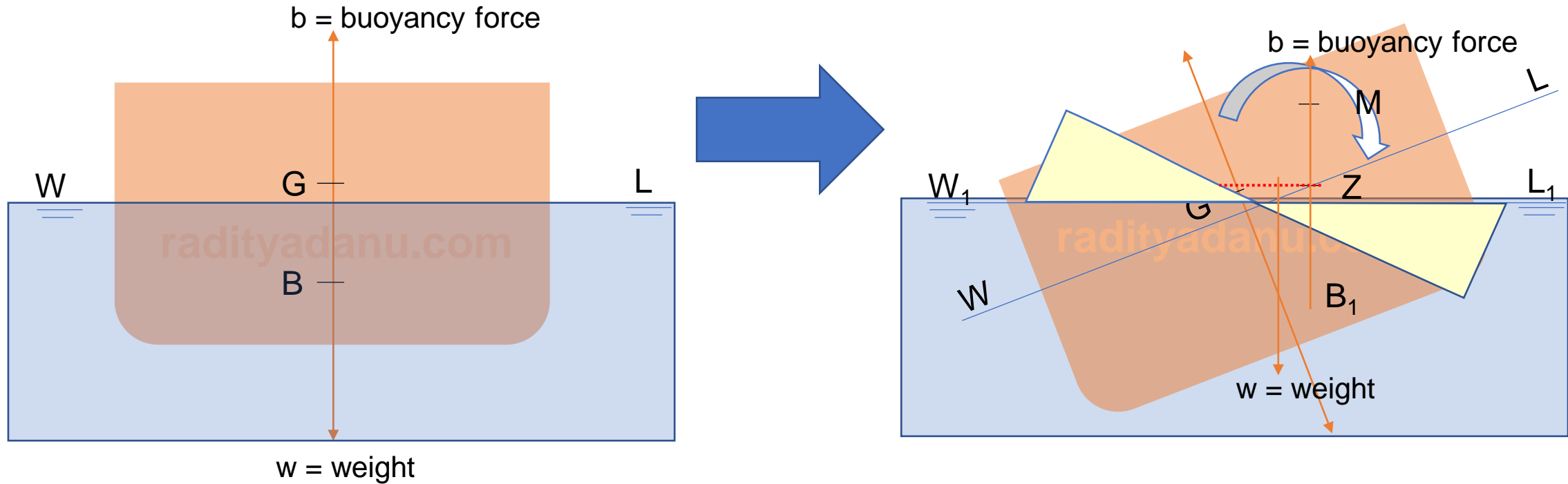
Types of Equilibrium

Steps to correct unstable ships

Negative GM and angle of Loll

Stiff and Tender Ship

THE METACENTER



The verticals through the centers of buoyancy at two consecutive angles of heel intersect at a point called the **Metacenter**

THE METACENTER

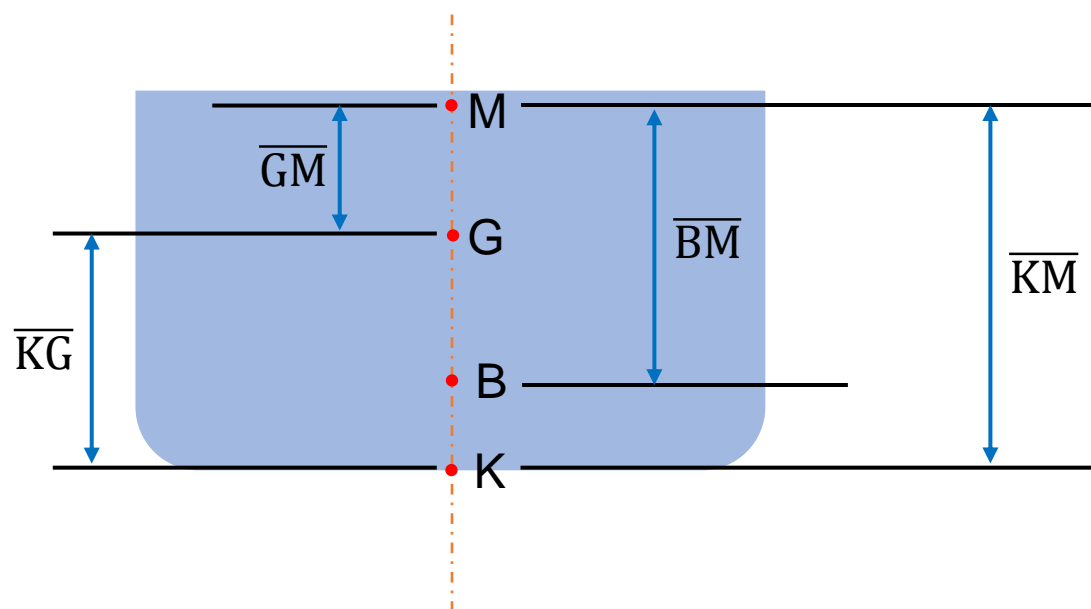
The position of the metacenter is a function of the position of the center of buoyancy:

As the Center of Buoyancy moves **up**, the Metacenter moves **down**.

As the Center of Buoyancy moves **down**, the Metacenter moves **up**.

For angles of heel up to about 15 the vertical through the center of buoyancy may be considered to cut the centerline at a fixed point called the initial metacenter

LINEAR MEASUREMENT IN STABILITY



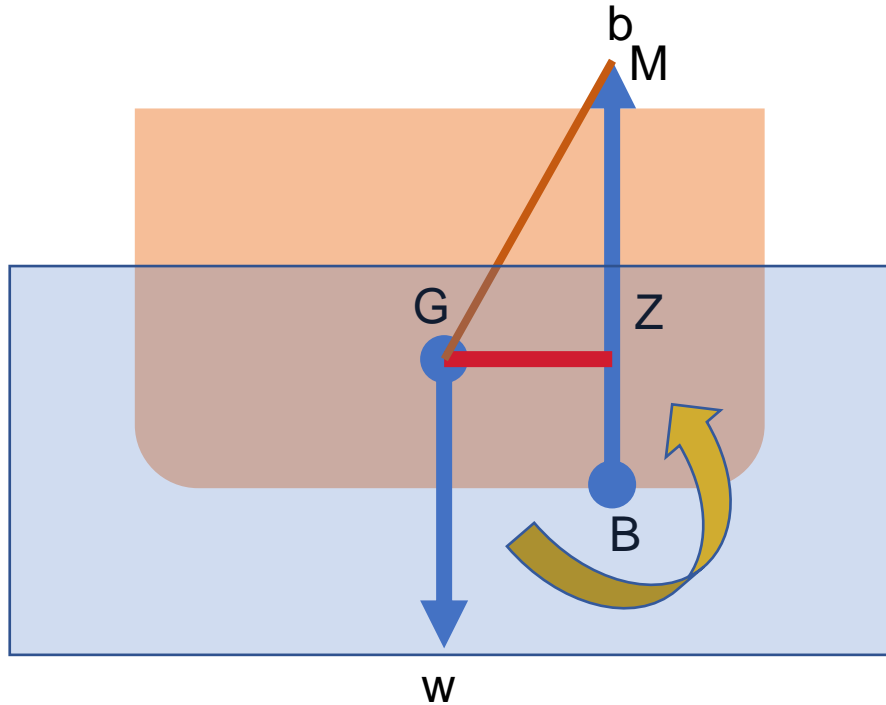
\overline{KG} - Height of the ship's Center of Gravity the above Keel

\overline{KM} - Height of Metacenter above the Keel

\overline{GM} - Metacentric Height: This measurement is calculated by subtracting \overline{KG} from \overline{KM} ($\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG}$). \overline{GM} is a measure of the ship's initial stability.

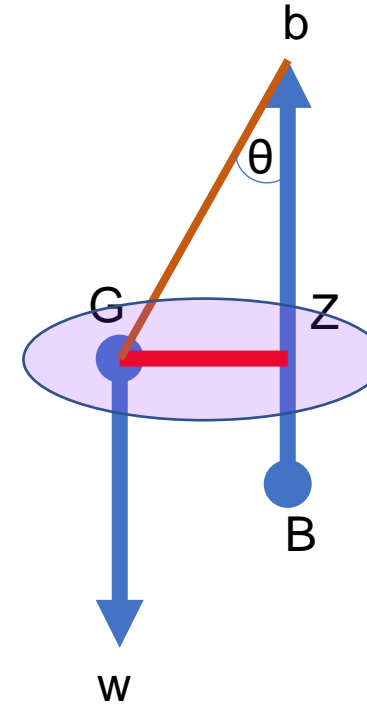
\overline{BM} - Metacentric Radius: The distance between the Center of Buoyancy and the Metacenter. It is actually the radius of the circle for the movements of "B" at small angles of heel.

THE RIGHTING COUPLE



Righting moment: moment that makes the ship come back to her initial equilibrium

force $b =$ force w , to keep ship afloat

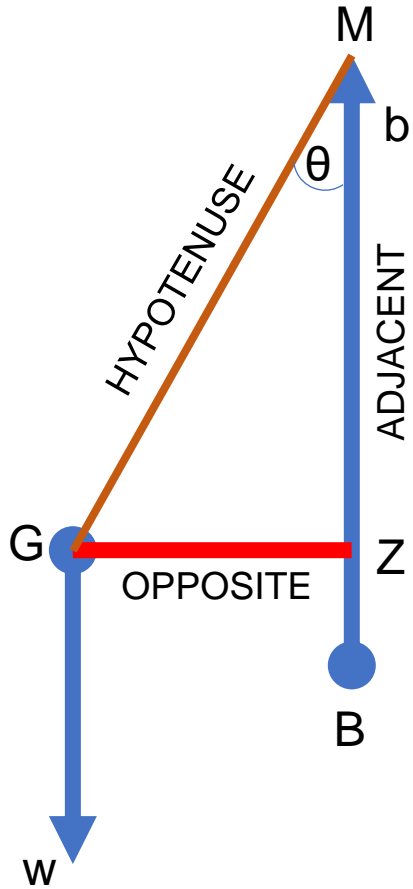


$GZ =$ Righting arm

Righting arm: The distance between the forces of buoyancy and gravity

the righting arm is a perpendicular line drawn from the center of gravity to the point of intersection on the force of buoyancy line.

CALCULATING RIGHTING ARM



$$\cos \theta = \frac{\text{ADJACENT}}{\text{HYPOTENUSE}} = \frac{MZ}{GM}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{OPPOSITE}}{\text{ADJACENT}} = \frac{GZ}{MZ}$$

$$\sin \theta = \frac{\text{OPPOSITE}}{\text{HYPOTENUSE}} = \frac{GZ}{GM}$$

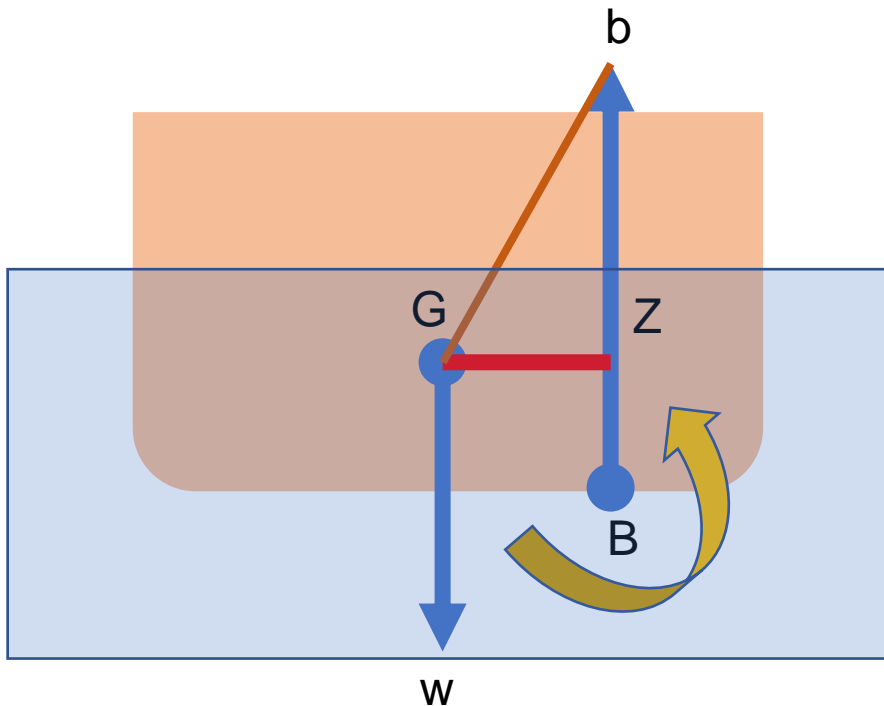
$$\text{Righting Arm (m or ft)} = GZ = GM \sin \theta$$

CALCULATING RIGHTING MOMENT

The Righting Moment is the best measure of a ship's overall stability.

It describes the ship's true tendency to resist inclination and return to equilibrium.

The Righting Moment is equal to the ship's Righting Arm multiplied by the ship's displacement.



$$RM(\text{ton. m}) \text{ or } (\text{kips. ft}) \\ = GZ(\text{m or ft}) \times \Delta(\text{ton or kips})$$

WHAT MAKES SHIP (A) ROLLS OVER AND SHIP (B) SURVIVED?



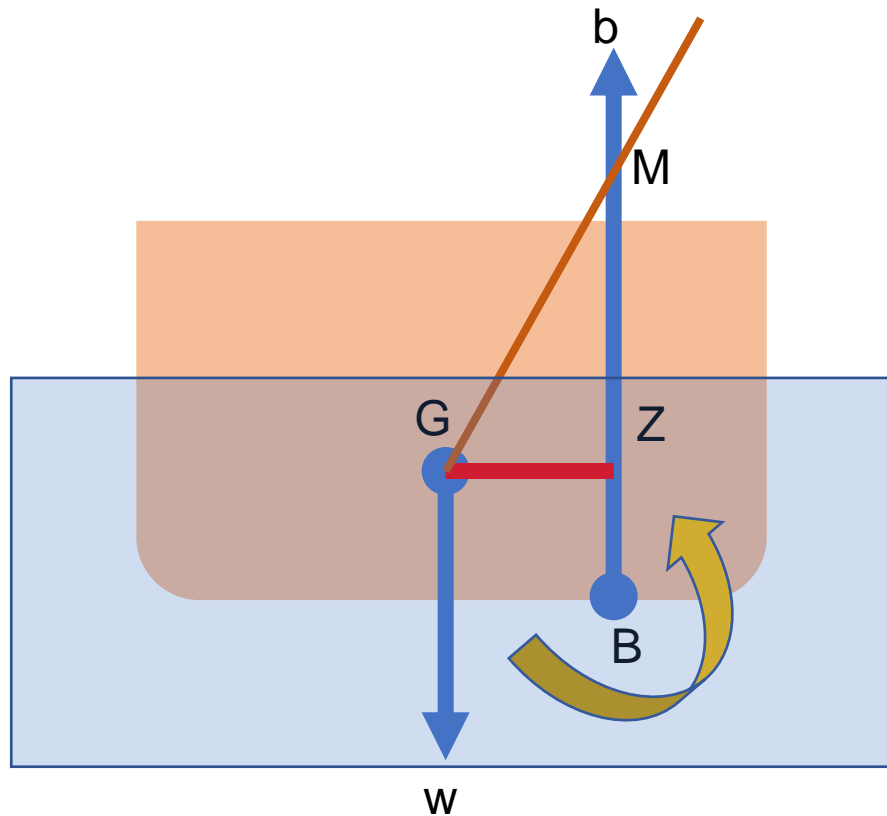
(A)



(B)

THE STABILITY EQUILIBRIUM (1)

1. Positive Stability

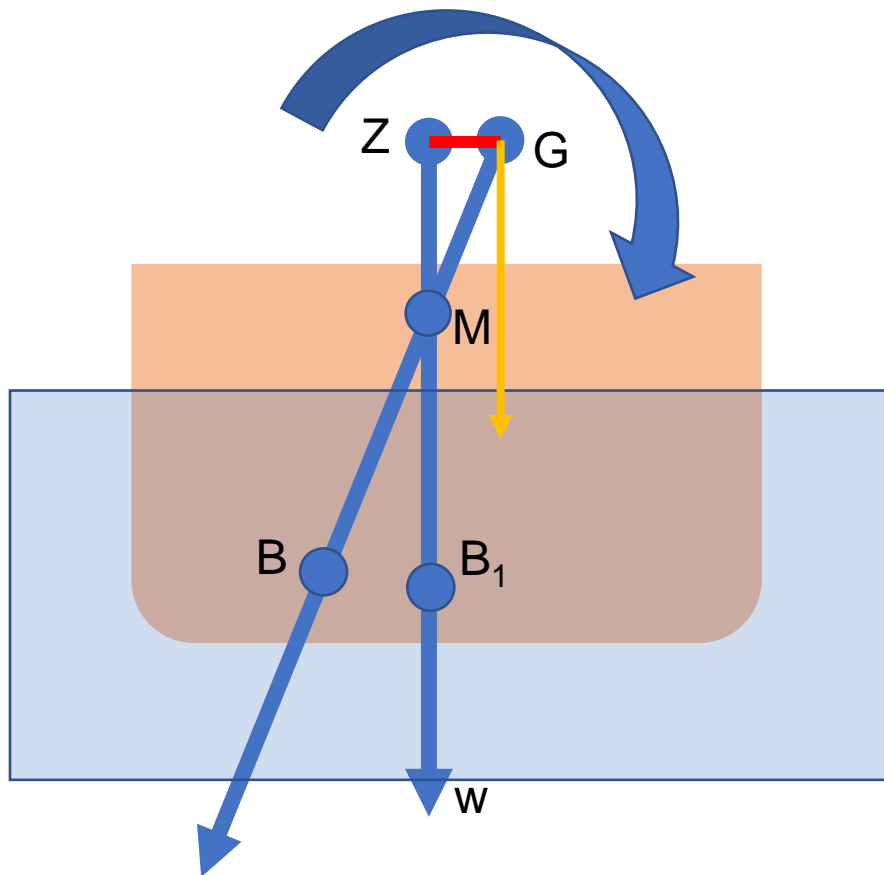


The metacenter is located above the ship's center of gravity.

As the ship is inclined, Righting Arms are created which tend to return the ship to its original, vertical position.

THE STABILITY EQUILIBRIUM (2)

2. Negative Stability



The ship's center of gravity is located above the metacenter.

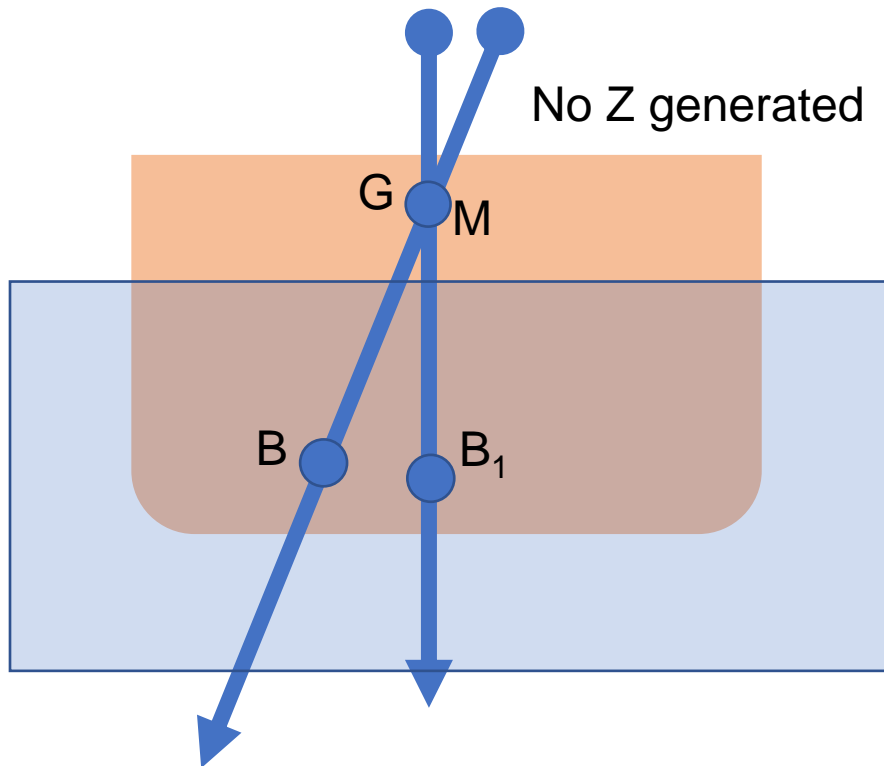
As the ship is inclined, negative Righting Arms (called upsetting arms) are created which tend to capsize the ship.

Note. A ship having a very small negative initial metacentric height GM does not mean that it is capsized.

This point will be examined and explained later. This situation produces an ***angle of loll***.

THE STABILITY EQUILIBRIUM (3)

3. Neutral Stability

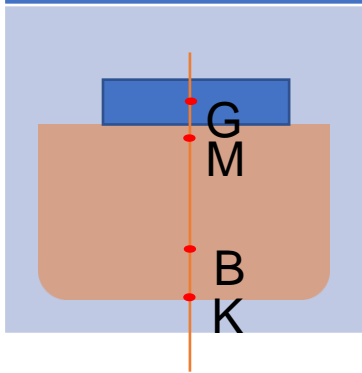


The metacenter and the ship's center of gravity are in the same location.

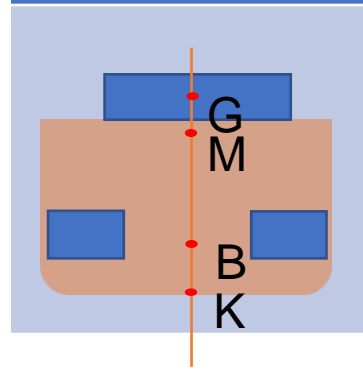
As the ship is inclined, no Righting Arms are created. (until the metacenter starts to move after the ship is inclined past 7° - 10°)

CORRECTING UNSTABLE AND NEUTRAL EQUILIBRIUM

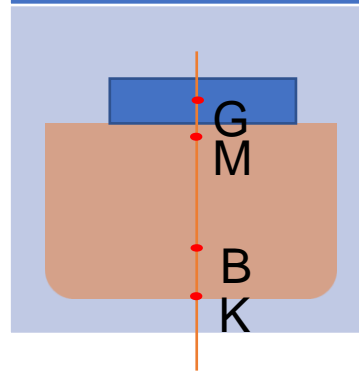
Weights already in the ship may be lowered,



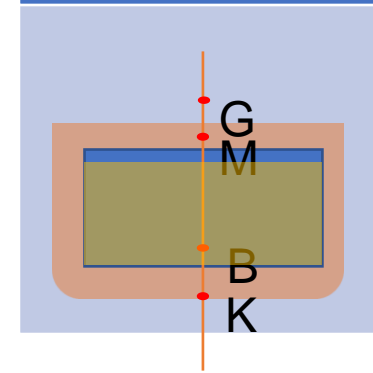
Weights may be loaded below the centre of gravity of the ship,



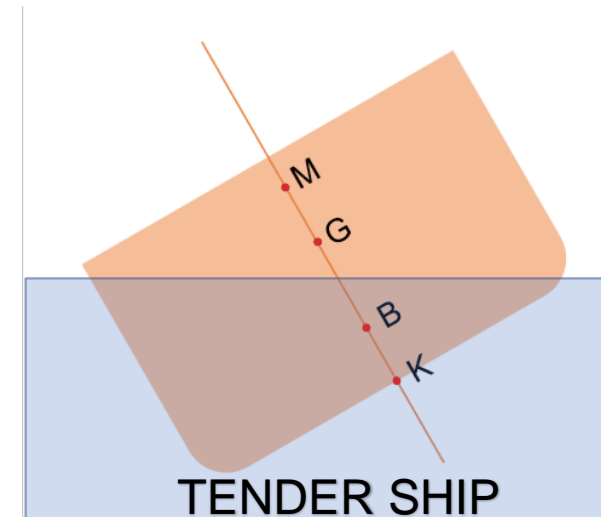
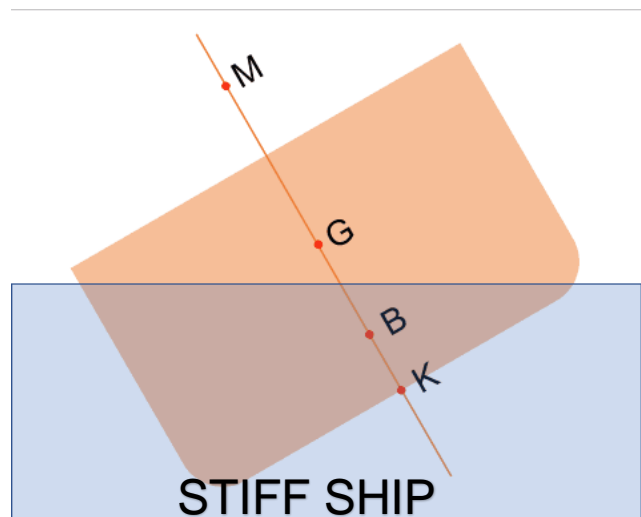
Weights may be discharged from positions above the centre of gravity, or:



Free surfaces within the ship may be removed



“STIFF” AND “TENDER” SHIP



When a ship has a comparatively large GM, for example 2-3 m, righting moments at small angles of heel will also be comparatively large.

It will thus require larger moments to incline the ship and she will tend to return more quickly to the initial position

The ship will have a comparatively short time period and will roll quickly – and perhaps violently – from side to side.

It is undesirable.

The time period could be as low as 8 seconds. The effective centre of gravity of the ship should be raised within that ship.

When the GM is comparatively small, for example 0.16 m to 0.20 m the righting moments at small angles of heel will also be small.

The ship will thus be much easier to incline and will not tend to return so quickly to the initial position.

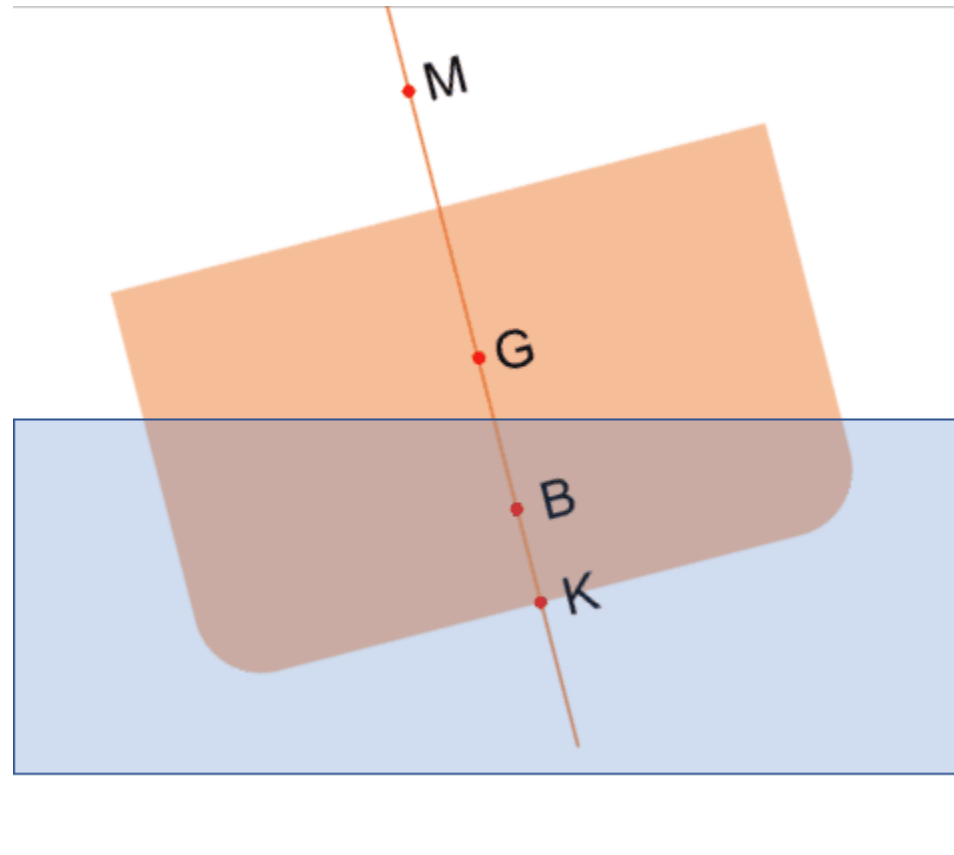
The time period will be comparatively long and a ship, for example 30 to 35 seconds, in this condition is said to be 'tender'.

As before, this condition is not desirable

steps should be taken to increase the GM by lowering the effective centre of gravity of the ship.

PERFECTLY COMFORTABLE SHIP

A time period of 20 to 25 seconds would generally be acceptable for those on board a ship



TYPICAL GM VALUE FOR SHIPS

Ship Type	GM at Fully-Loaded Condition
General cargo ship	0.3-0.5 m
Oil tanker to VLCC	0.3-1.0 m
Container ships	± 1.5 m
Ro-Ro Vessels	± 1.5 m
Bulk ore carriers	2-3 m

LESSON 4: TPC AND DISPLACEMENT CURVE

TEORI BANGUNAN APUNG 2

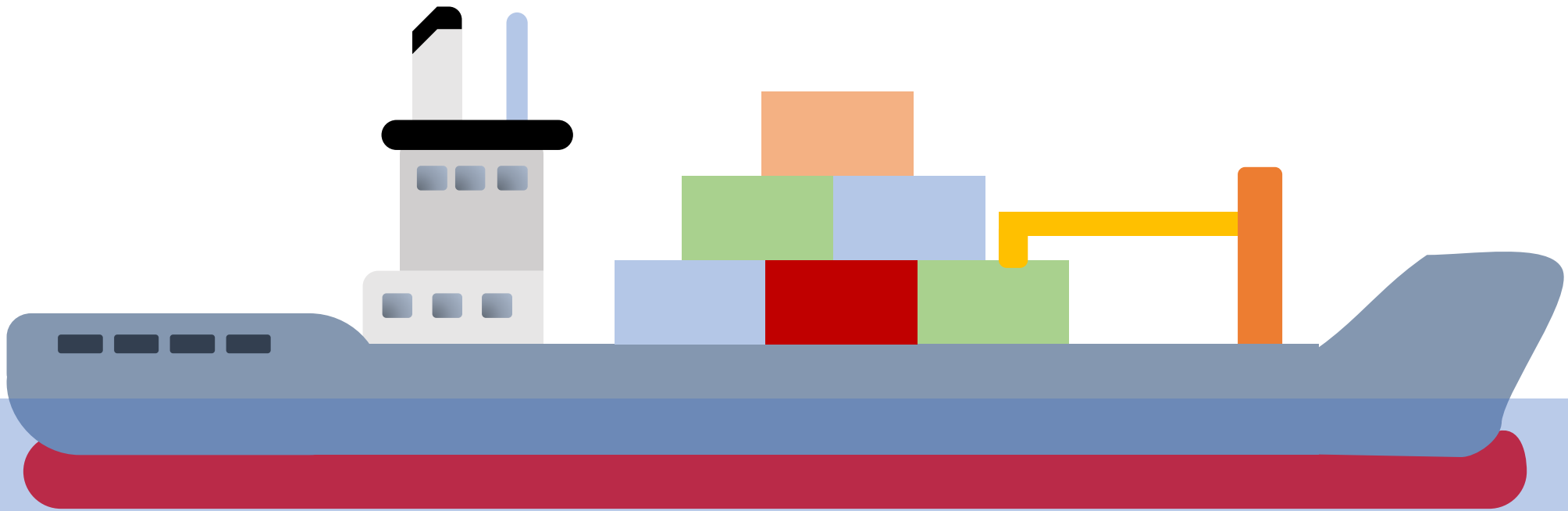
Raditya Danu Riyanto
Departemen Teknik Kelautan
FTK ITS
2020

WHAT IS TPC?

The TPC is the mass which must be loaded or discharged to change the ship's mean draft by 1 cm

$$TPC_{SW} = \frac{WPA}{97.56}$$

$$TPC_{FW} = \frac{WPA}{100}$$

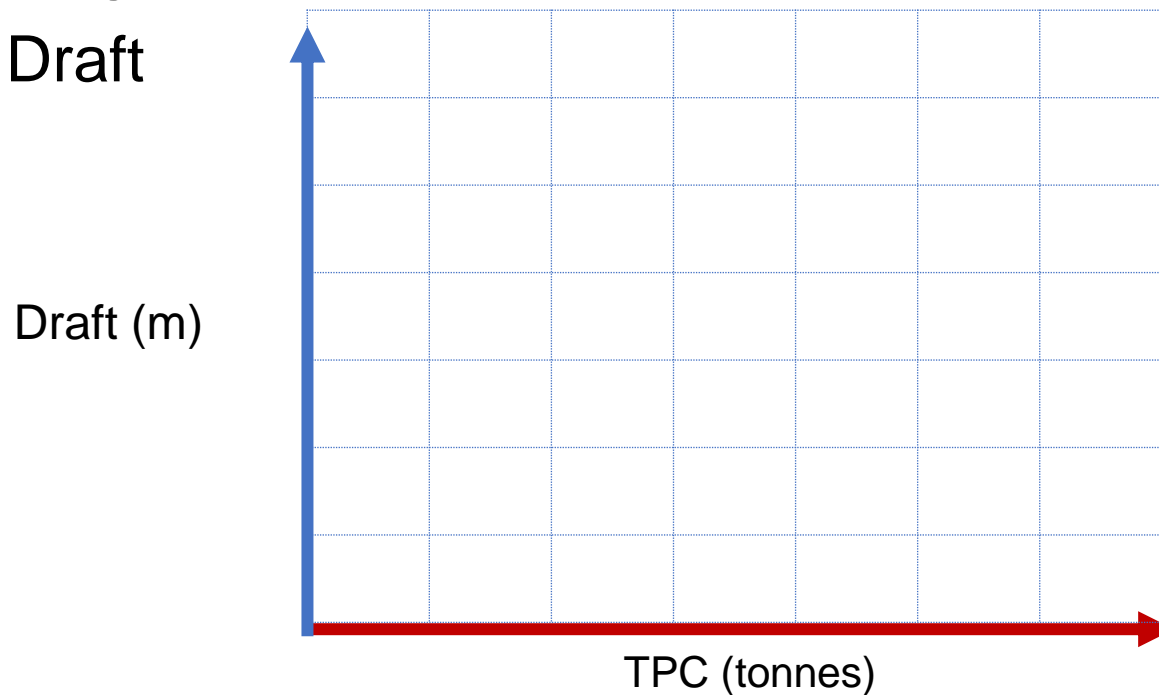


Constructing a TPC Curve

TPC is plotted against the corresponding drafts.

It is usually more convenient to plot

- X: TPC
- Y: Draft



Example

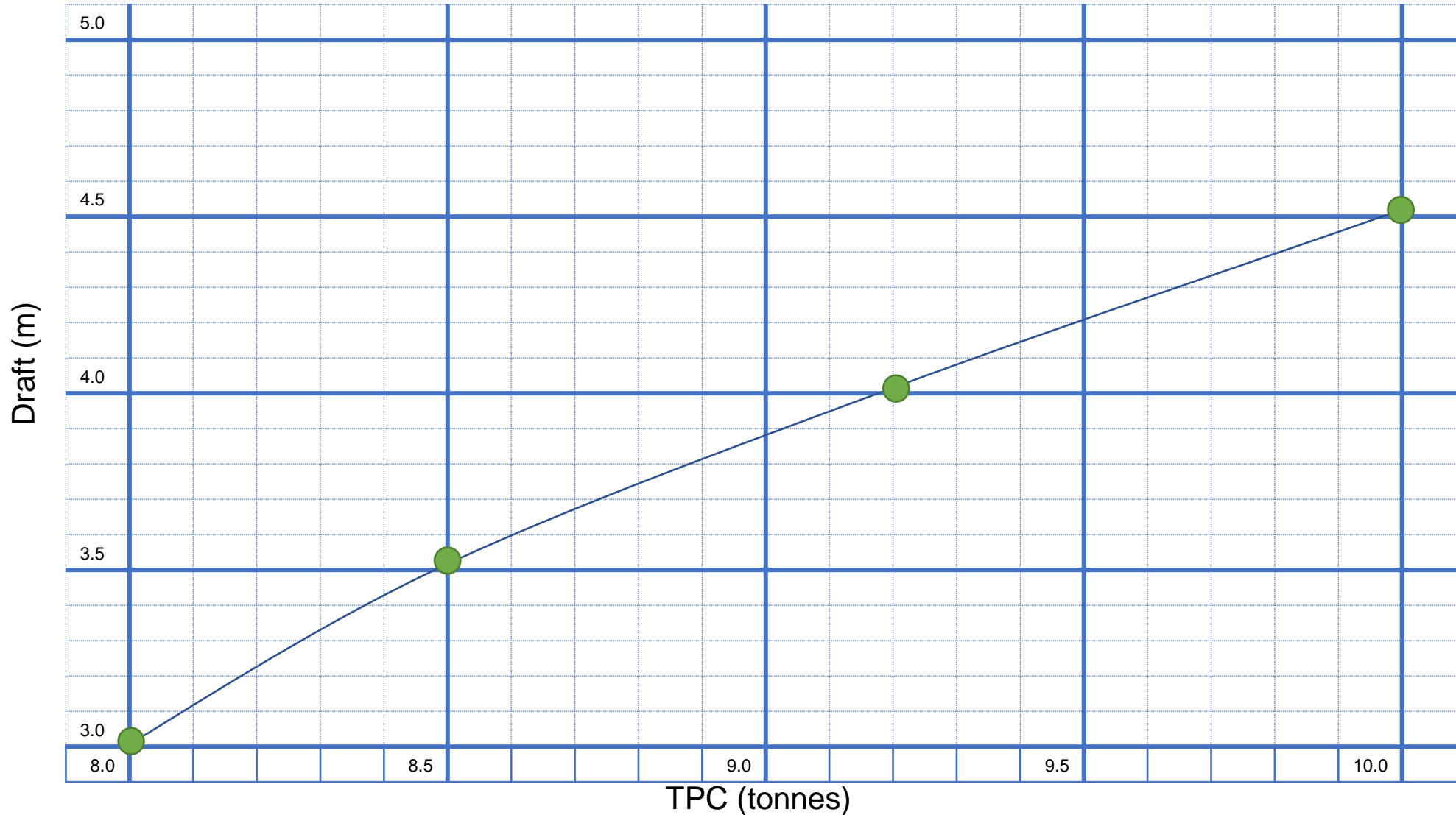
a) Construct a graph from the following information

Mean draft (m)	3.0	3.5	4.0	4.5
TPC (tonnes)	8.0	8.5	9.2	10.0

- b) From this graph find the TPC's at drafts of 3.2 m; 3.7 m; and 4.3 m.
- c) If the ship is floating at a mean draft of 4 m and then loads 50 tonnes of cargo, 10 tonnes of fresh water, and 25 tonnes of bunkers, whilst 45 tonnes of ballast are discharged, find the final mean draft.

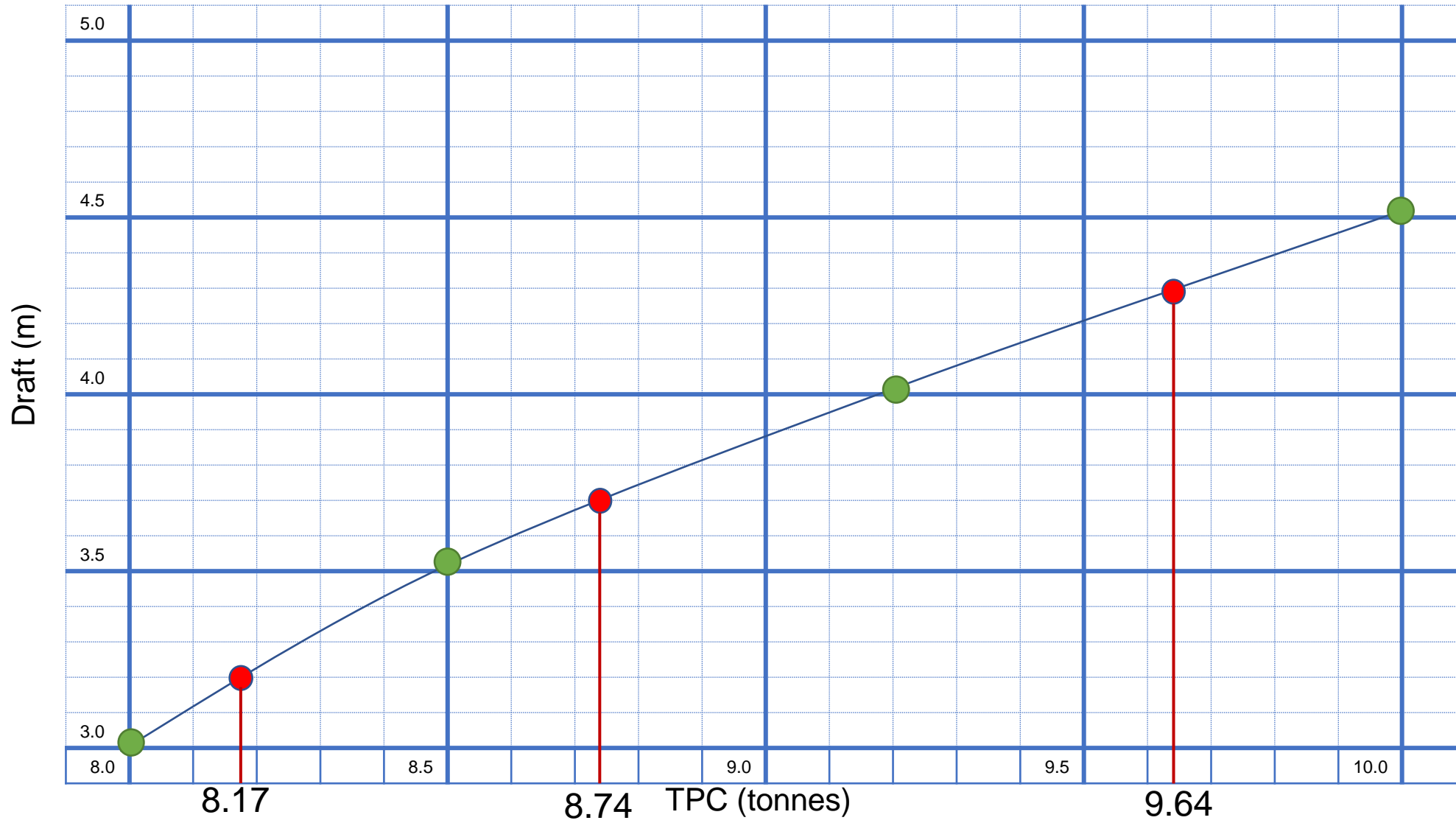
Answer

(a) Construct the graph based on the given data



Answer

(b) Plot the requested TPC on the corresponding draft



Answer

(c).1 TPC at 4 m draft = 9.2 tonnes

Loaded cargo	50 tonnes
Fresh water	10 tonnes +
Bunkers	25 tonnes +
SUBTOTAL	85 tonnes
Discharged ballast	45 tonnes -
Net load	40 tonnes

(c).2 Determine the increase in draft

$$\begin{aligned}\text{increase in draft} &= \frac{w}{\text{TPC}} \\ &= \frac{40}{9.2} = 4.35 \text{ cm}\end{aligned}$$

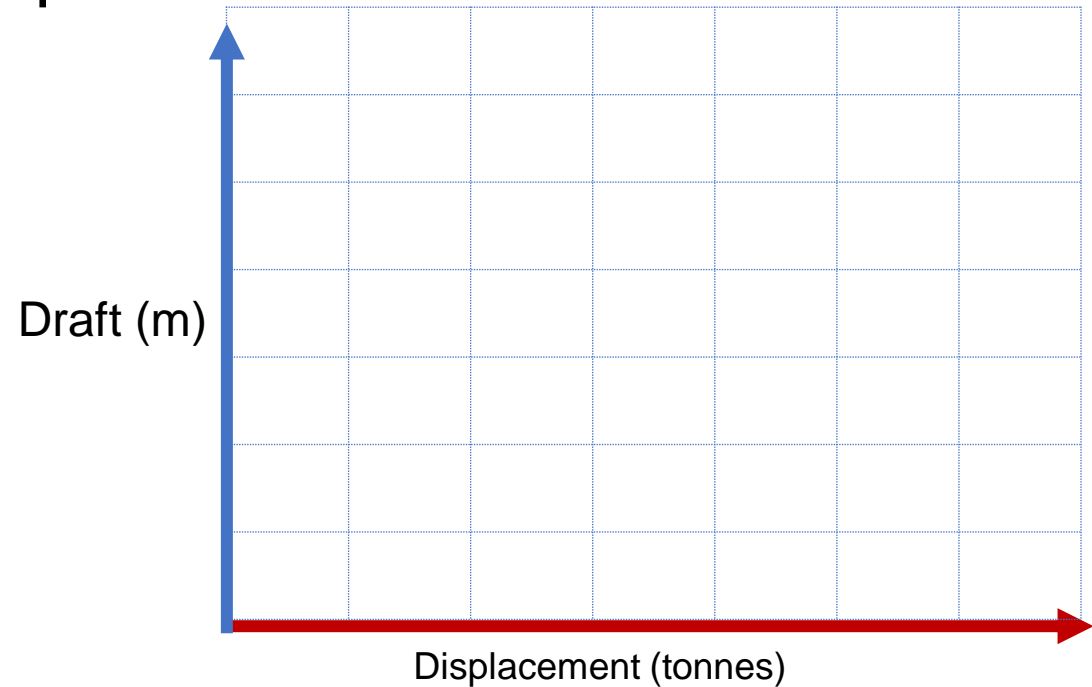
$$\text{New draft} = 4.0 \text{ m} + 0.044 \text{ m} = 4.044 \text{ m}$$

Constructing a Displacement Curve

A displacement curve is one from which the displacement of the ship at any particular draft can be found, and vice versa

It is usually more convenient to plot

- X: Displacement
- Y: Draft



Example

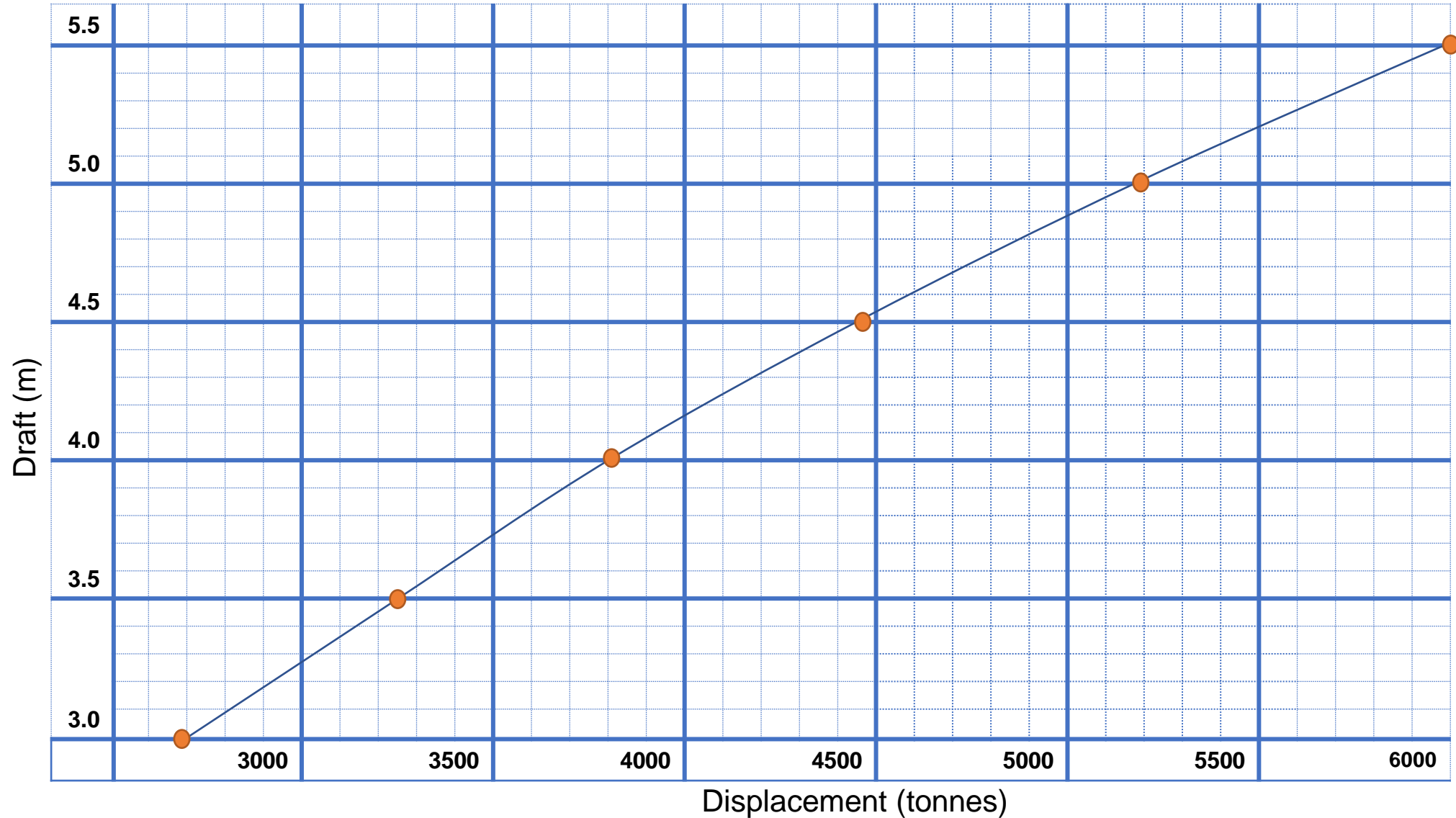
(a) Construct a displacement curve from the following data:

Draft (m)	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
Displacement (tonnes)	2700	3260	3800	4450	5180	6060

- b) If this ship's light draft is 3 m, and the load draft is 5.5 m, find the deadweight.
- c) Find the ship's draft when there are 500 tonnes of bunkers, and 50 tonnes of fresh water and stores on board.
- d) When at 5.13 m mean draft, the ship discharges 2100 tonnes of cargo and loads 250 tonnes of bunkers. Find the new mean draft.
- e) Find the approximate TPC at 4.4 m mean draft.
- f) If the ship is floating at a mean draft of 5.2 m, and the load mean draft is 5.5 m, find how much more cargo may be loaded.

Answer

(a) Construct the graph based on the given data



Answer

(b)

Load	Draft = 5.5 m	Displacement	6060 ton
Lightship	Draft = 3.0 m	Displacement	2700 ton

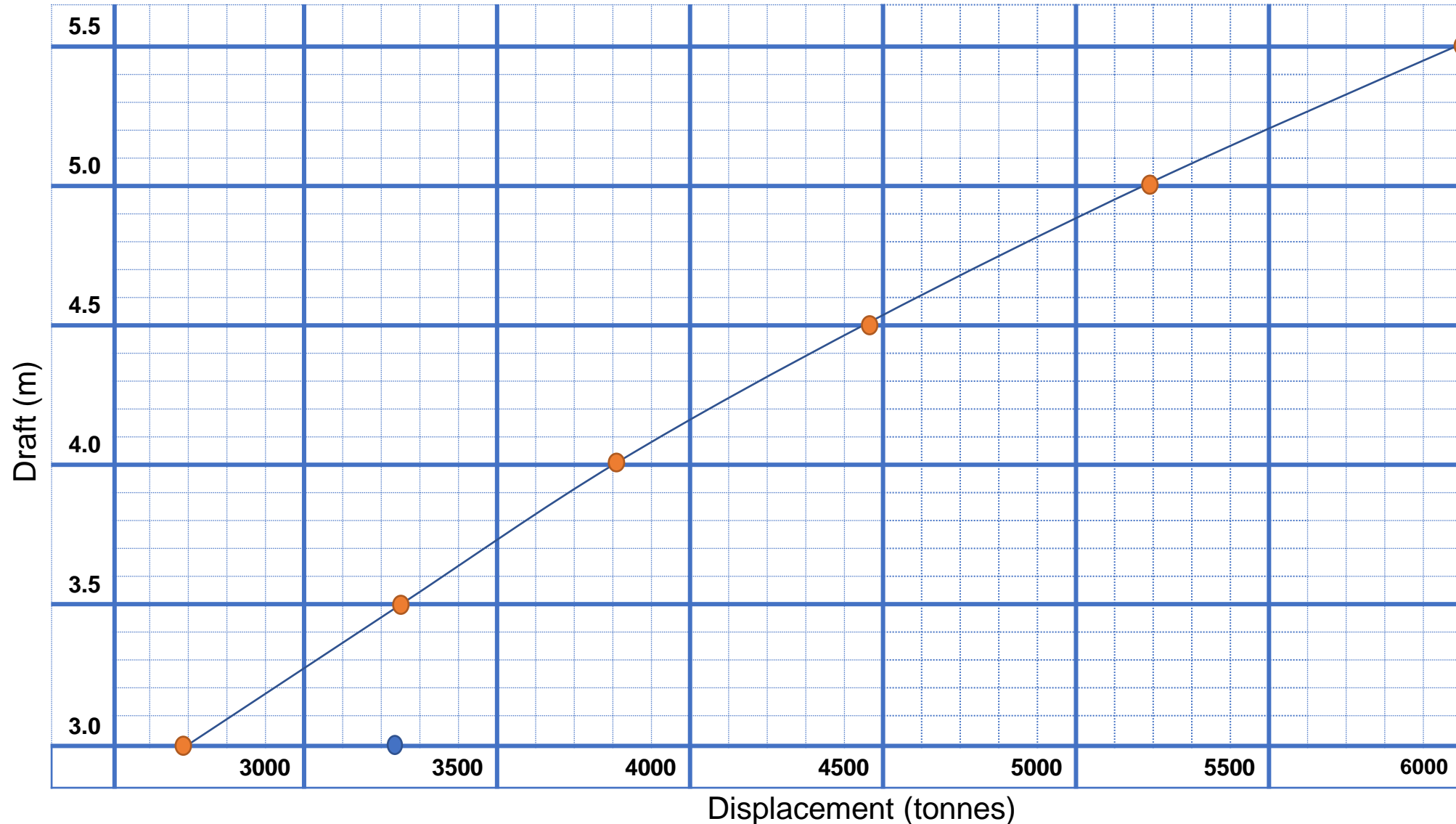
Deadweight = 3360 ton

$$\text{Deadweight} = \Delta \text{ at loaded draft} - \Delta \text{ at Lightship}$$

Answer

(c) Finding ship draft after load added/discharged

(c) Light displacement	2700 tonnes
Bunkers	+500 tonnes
Fresh water and stores	+50 tonnes
New displacement	<u>3250 tonnes</u>
\therefore Draft =	<u>3.48 m</u>

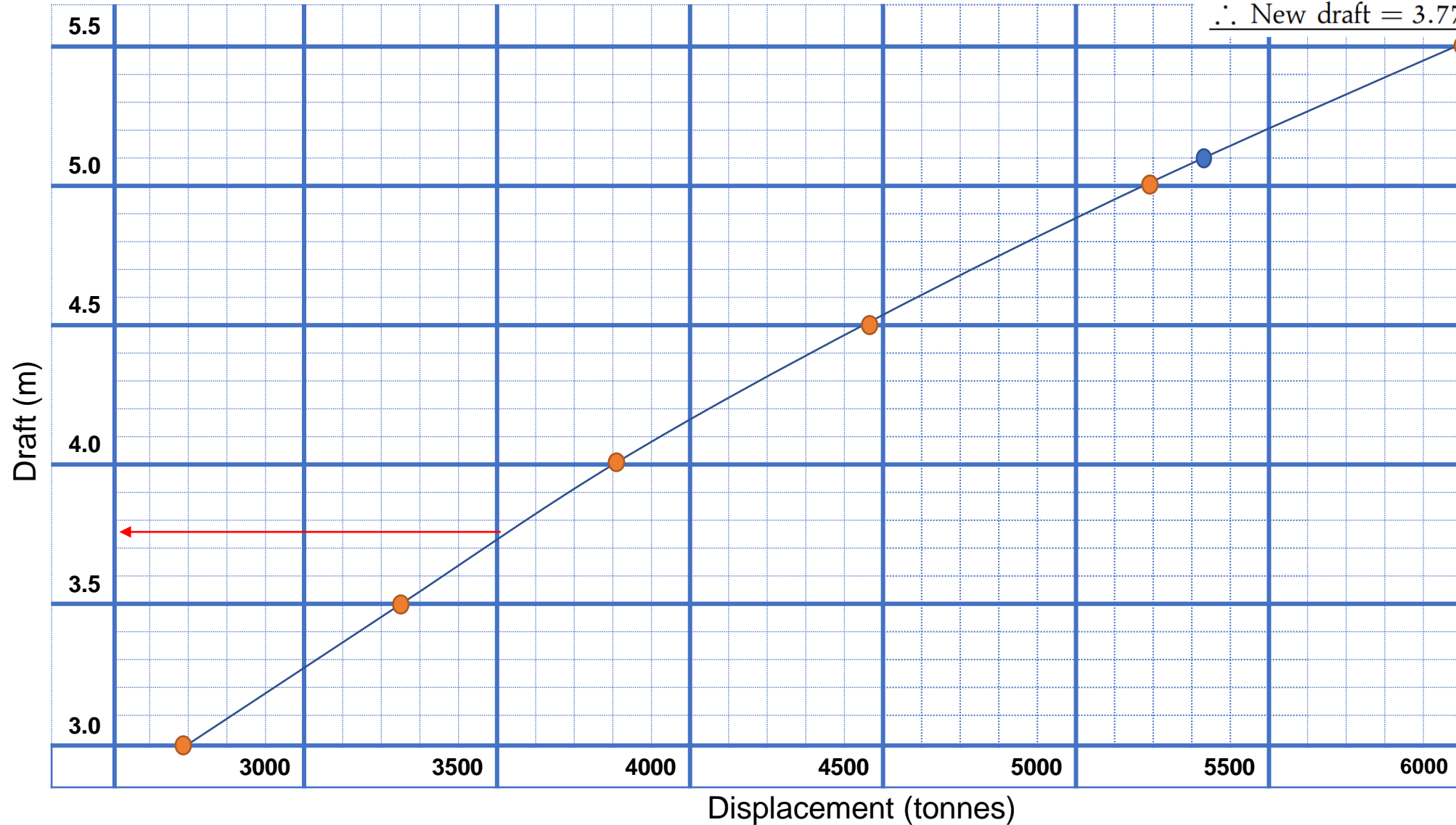


Answer

(d) Finding new draft after load added/discharged

(d) Displacement at 5.13 m	5380 tonnes
Cargo discharged	-2100 tonnes
	<u>3280 tonnes</u>
Bunkers loaded	250 tonnes
New displacement	3530 tonnes

\therefore New draft = 3.775 m



Answer

(e)

At 4.5 m draft, displacement =	4550	tonnes
At 4.3 m draft, displacement =	4175	tonnes
Difference to change the draft 0.2 m =	275	tonnes
Difference to change per 1 cm =	$\frac{275}{20}$	tonnes
$\therefore TPC =$	13.75	tonnes

Answer

(f)

Loaded draft 5.5 m, displacement = 6060 tonnes

Loaded draft 5.2 m, displacement = 5525 tonnes

Difference = 535 tonnes

\therefore Load = 535 tonnes

Question?

Calculating KB, BM, and Metacentric Diagrams

Teori Bangunan Apung 2

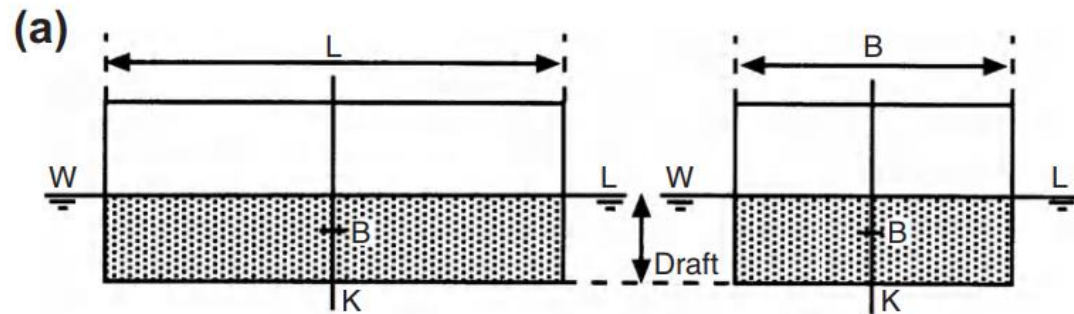
2020

Learning Purpose

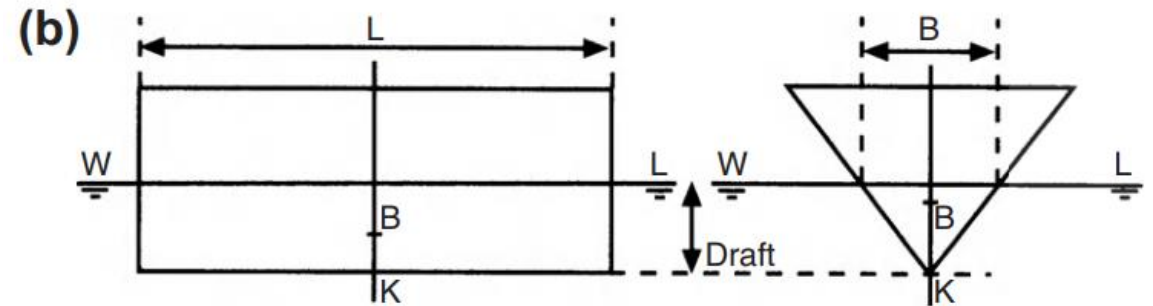
- To ascertain the GM for any condition of loading it is necessary also to calculate the KB and BM (i.e. KM) for any draft.

Calculating KB

- The centre of buoyancy is the centre of gravity of the underwater volume.



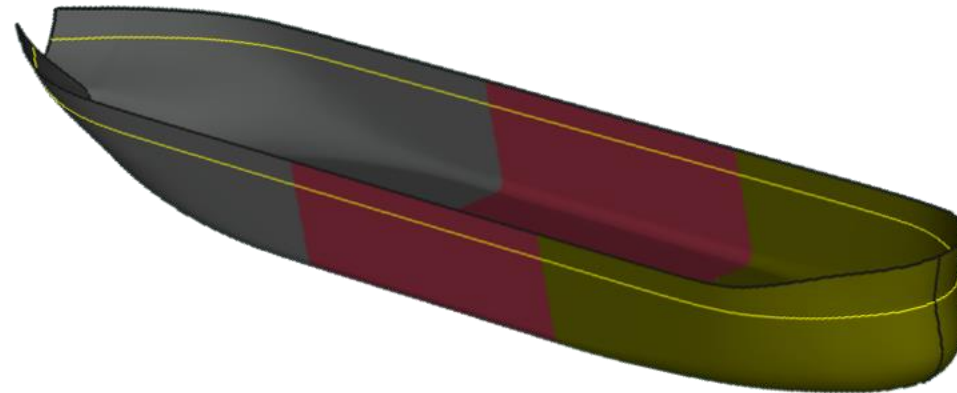
$$KB = \frac{1}{2} \text{ draft.}$$



$$KB = \frac{2}{3} \text{ draft}$$

Calculating KB

Untuk bentuk kapal yang umum, KB dapat diperkirakan dengan cukup akurat menggunakan Simpson's Rules, seperti yang dijelaskan di TBA 1



Perkiraan yang lebih dekat dari kedalaman ini dapat diperoleh dengan menggunakan rumus Morrish:

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

Calculating \overline{BM}_T

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

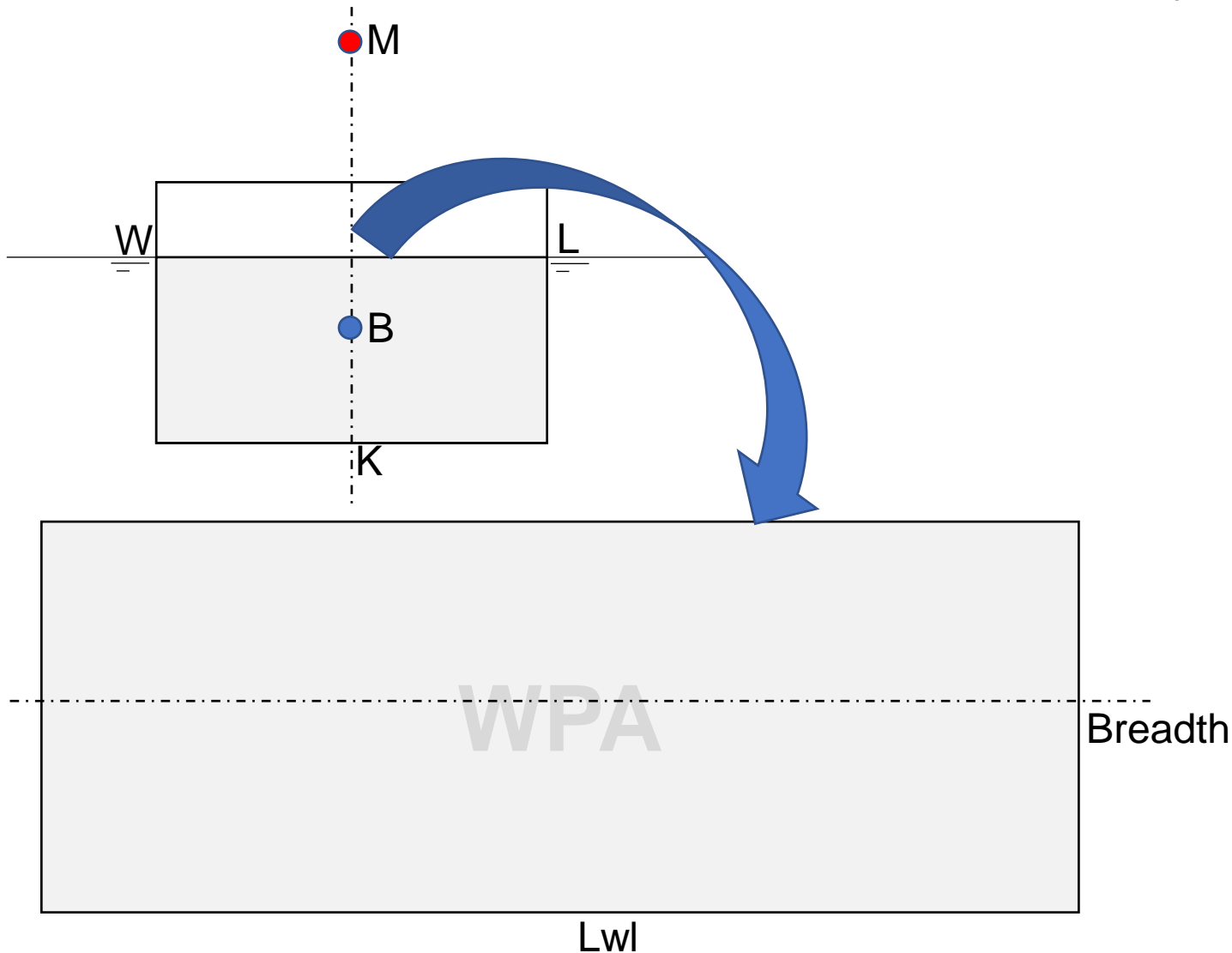
\overline{BM}_T = Jari-jari Metacenter Transversal

I = Second moment of waterplane area (m^4)

V_{disp} = Volume displacement (m^3)

BMT merupakan jari-jari metacenter yang diukur dari titik B ke titik Metacenter (M) dari penampang transversal bangunan apung

Calculating BM_T



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

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

$$= \frac{L_{WL} \times B^3}{12 \times V}$$

$$= \frac{L_{WL} \times B^3}{12 \times L_{WL} \times Breadth \times T}$$

$$\overline{BM}_T = \frac{B^2}{12T} \dots (4)$$

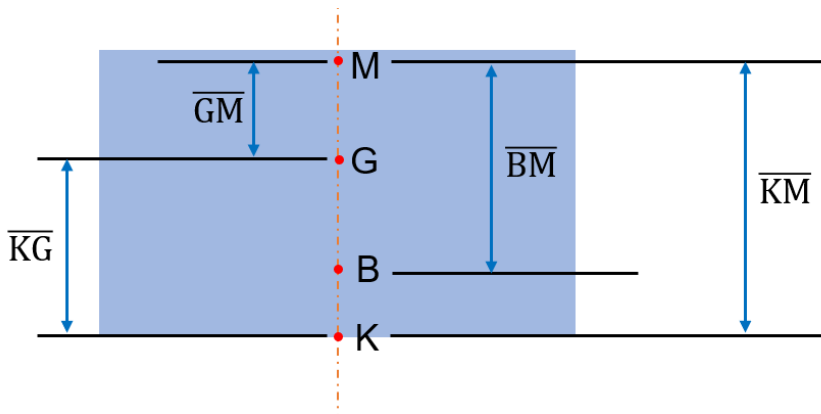
Calculating \overline{BM}_T

Sedangkan untuk bangunan apung berbentuk prisma segitiga, nilainya:

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

Contoh 1: BM_T bangunan box sederhana

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 $KG = 1.5 \text{ m}$, hitung tinggi metacenter awal!



STEP 1: Menghitung \overline{KB}

$$\overline{KB} = \frac{1}{2} \times T$$

$$\overline{KB} = 1 \text{ m}$$

STEP 2: Menghitung BM_T

$$\overline{BM_T} = \frac{B^2}{12T}$$

$$\overline{BM_T} = \frac{5^2}{12 \times 2}$$

$$\overline{BM_T} = 1.04 \text{ m}$$

STEP 3: Menghitung GM_T

$$\overline{KB} = 1 \text{ m}$$

$$\overline{BM} = +1.04 \text{ m}$$

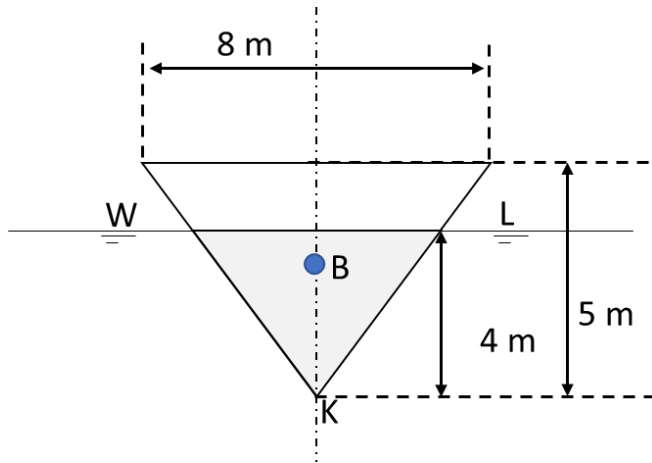
$$\overline{KM} = \overline{KB} + \overline{BM} = 2.04 \text{ m}$$

$$\overline{KG} = 1.50 \text{ m}$$

$$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG} = \mathbf{0.54 \text{ m}}$$

Contoh 2: BM_T bangunan prisma

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!



STEP 1: Menghitung B

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

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

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

STEP 2: Menghitung KB

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

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

STEP 3: Menghitung BM_T

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

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

$$\overline{BM_T} = 1.71 \text{ m}$$

STEP 4: Menghitung GM_T

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

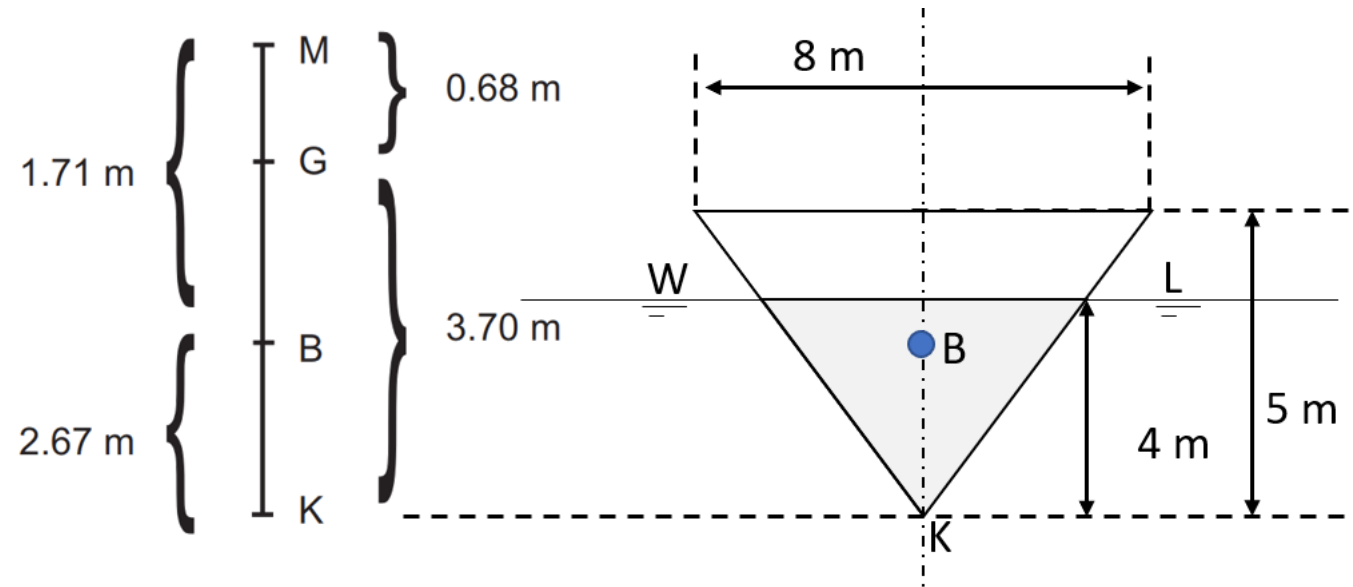
$$\overline{BM} = +1.714 \text{ m}$$

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

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

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

Final Result



Contoh 3: BM_T bangunan kapal

- STEP 2: Menentukan WPA**

karena titik tumpu heeling kapal terletak di L_{CF} , $I_{WPA} = I_{OZ}$ yang merupakan second moment of inertia 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
		$\Sigma_1=25.8$	$\Sigma_2 = +6.6$		$\Sigma_3 = 60.6$	

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

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

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

Contoh 3: BM_T bangunan kapal

- **STEP 3:** Menghitung L_{CF}

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

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

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

Contoh 3: BM_T bangunan kapal

- **STEP 4:** Menghitung I_{OZ} , yaitu inersia WPA dengan titik tumpu di L_{CF}

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

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

Dengan menggunakan teorema parallel axis:

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

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

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

Contoh 3: BM_T bangunan kapal

STEP 5: Menentukan perkiraan KB dengan Persamaan (1)

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

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

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

Contoh 3: \overline{BM}_T bangunan kapal

STEP 6: Menentukan \overline{BM}_T

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

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

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

Contoh 3: BM_T bangunan kapal

STEP 7: Menentukan tinggi metacenter awal

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

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

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

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

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

Diagram Metacenter

- Seperti pertemuan yang lalu (pembahasan TPC dan Displacement Curve), diagram metacenter juga merupakan diagram di sumbu x nya berupa nilai KB, BM dan KM (satuan m) dengan sumbu y nya berupa variasi draft (satuan m).

Contoh Diagram Metacenter

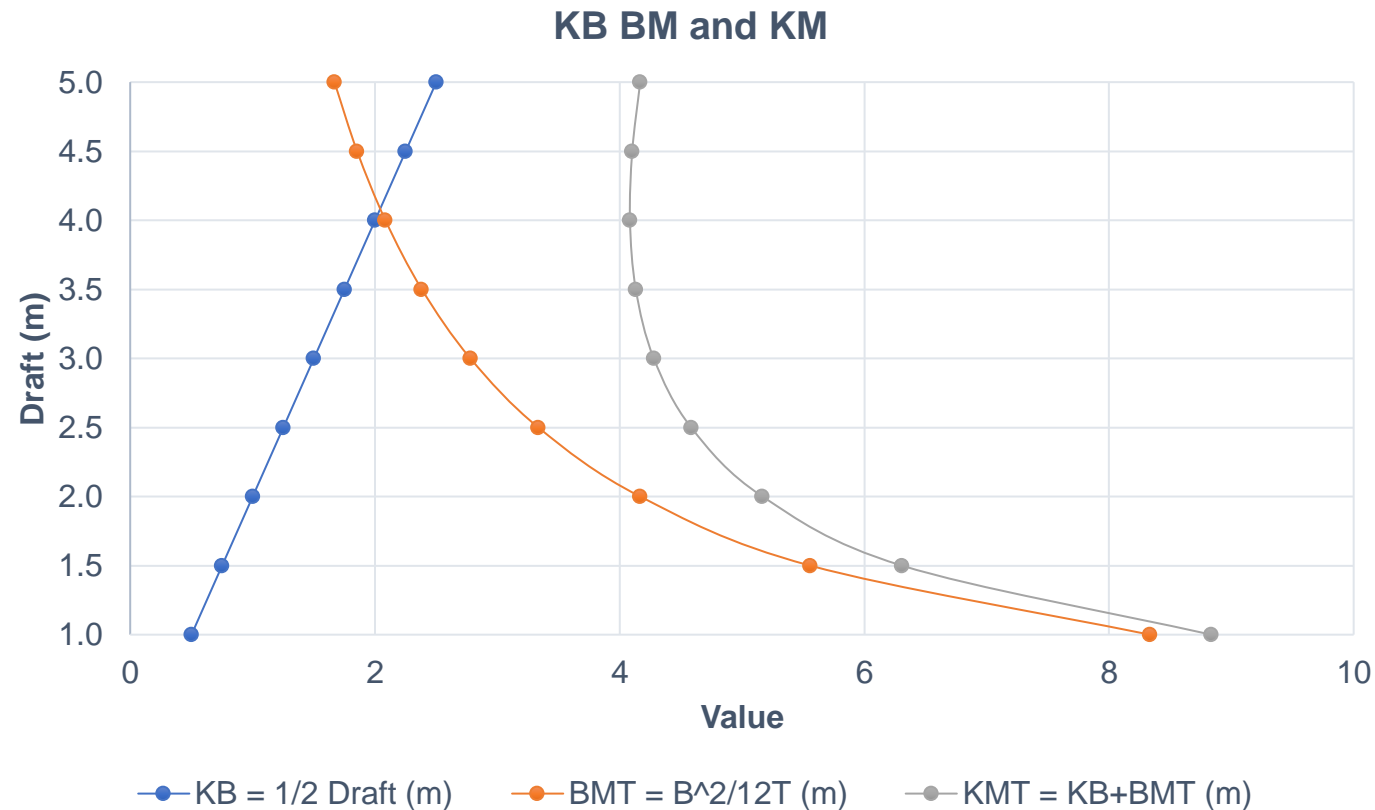
Buatlah diagram metacenter untuk bangunan apung berbentuk box dengan $L = 64$ m, $B = 10$ m, dan $H = 6$ m, untuk even keel draft dari light load Draft = 1 m ke full load Draft = 5 m. Interval 0.5 m!

STEP 1: Menghitung KB , BMT dan KMT untuk tiap-tiap draft

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

Contoh Diagram Metacenter

STEP 2: Melakukan plotting pada grafik dengan axis X adalah nilai KB BM_T dan KM_T dalam satuan meter, dan axis Y adalah nilai draft dengan satuan meter



Question?

Listing (1): Explanation and example

Teori Bangunan Apung 2

2020

Learning Purpose

- To understand the listing considerations
- To calculate listing angle

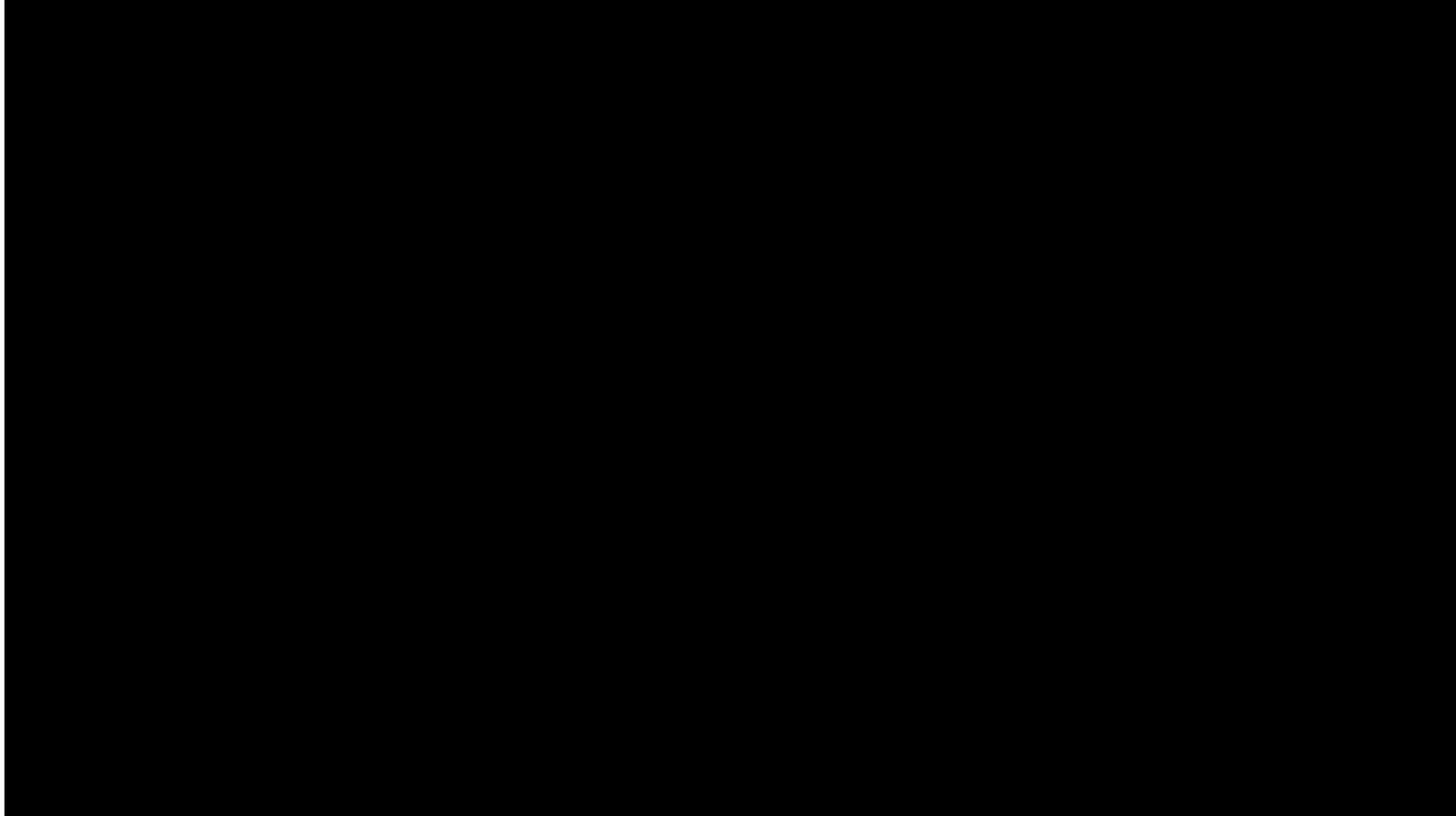
Apa itu angle of list?

- Setelah kita kemarin membahas tentang heel, kita akan membahas tentang list
- Check:
 - Apa itu heel? **EXTERNAL FORCE INCLINATION**
 - Akibat heel, ada berapa tipe stabilitas kapal? **STABLE, UNSTABLE, NEUTRAL**
 - Apa itu list? **INTERNAL FORCE INCLINATION**

Apa penyebab list?

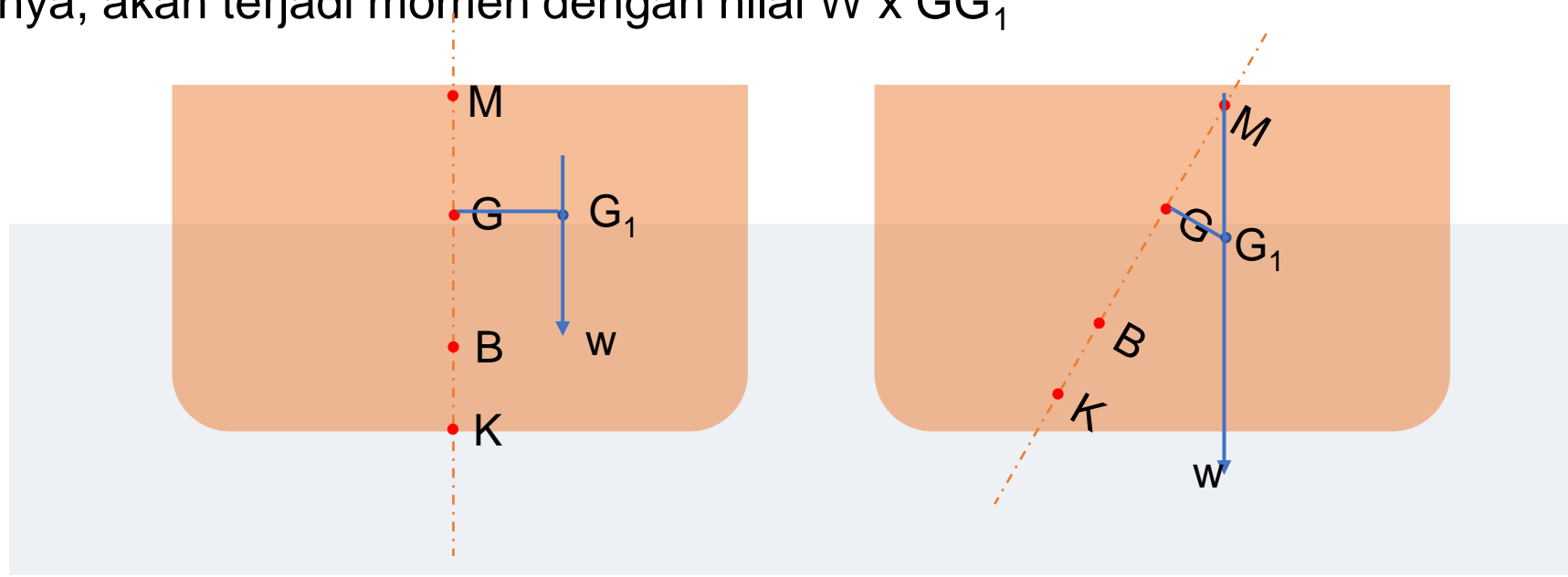
Pirates of Caribbean – At the World's End (2007)

“Up is Down” Scene



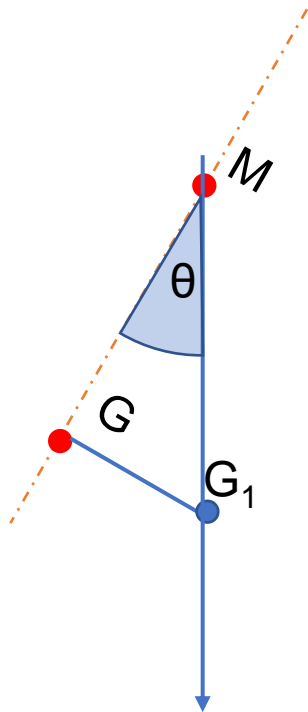
Penyebab list

- Dengan alasan tertentu, (misal akibat peletakan muatan yang tidak sempurna, atau perpindahan muatan selama voyage) muatan yang ada di dalam kapal berpindah secara transversal sehingga titik berat kapal berpindah dari G ke G_1
- Akibatnya, akan terjadi momen dengan nilai $W \times GG_1$



Penyebab list (2)

- Untuk sudut list yang kecil (<15 derajat)
- Titik G1 dapat diasumsikan berada satu garis vertikal yang sama dengan titik M.
- G-G1-M merupakan segitiga siku-siku yang menunjukkan fenomena list dengan sudut siku-sunya di titik G dan sudut list-nya di titik M



$$\tan \theta = \frac{\overline{GG_1}}{\overline{GM}}$$

Problem 1

- **STEP 2.** Akibat dari pemindahan ini adalah sudut listing θ derajat yang merupakan sudut yang menghubungkan M dengan G_1 secara vertikal, dengan jarak GG_1 yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$\overline{GG_1} = \frac{w \times d}{\Delta}$$

w = berat muatan yang dipindah (tonnes)

d = jarak pemindahan muatan transversal (m)

Δ = displacement (tonnes)

Maka dari data yang diberikan dapat dilakukan perhitungan:

$$\begin{aligned}\overline{GG_1} &= \frac{60 \times 12}{6000} \\ \overline{GG_1} &= \mathbf{0.12 \text{ m}}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk menghitung GM, dapat ditentukan dengan persamaan:

$$GM = KM - KG = 7.3 - 6.7 = \mathbf{0.6 \text{ m}}$$

Problem 1

STEP 3. Menghitung sudut list dengan persamaan sebagai berikut

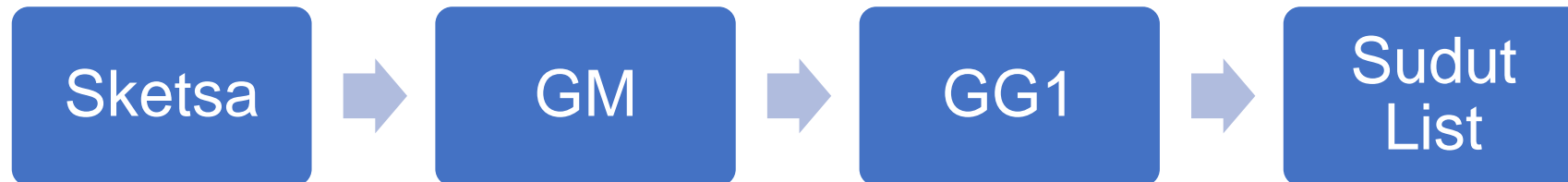
$$\tan \theta = \frac{\overline{GG_1}}{\overline{GM}} \dots (2)$$

$$\tan \theta = \frac{0.12}{0.6} = 0.2$$

$$\underline{\theta = \arctan(0.2) = 11.31^\circ}$$

Problem 1 key takeaways

- Selalu gambar sketsanya dulu!
- Hitung komponen segitiga list yaitu jarak GM dan GG_1



Problem 2: angle of list ketika pemindahan muatan horizontal



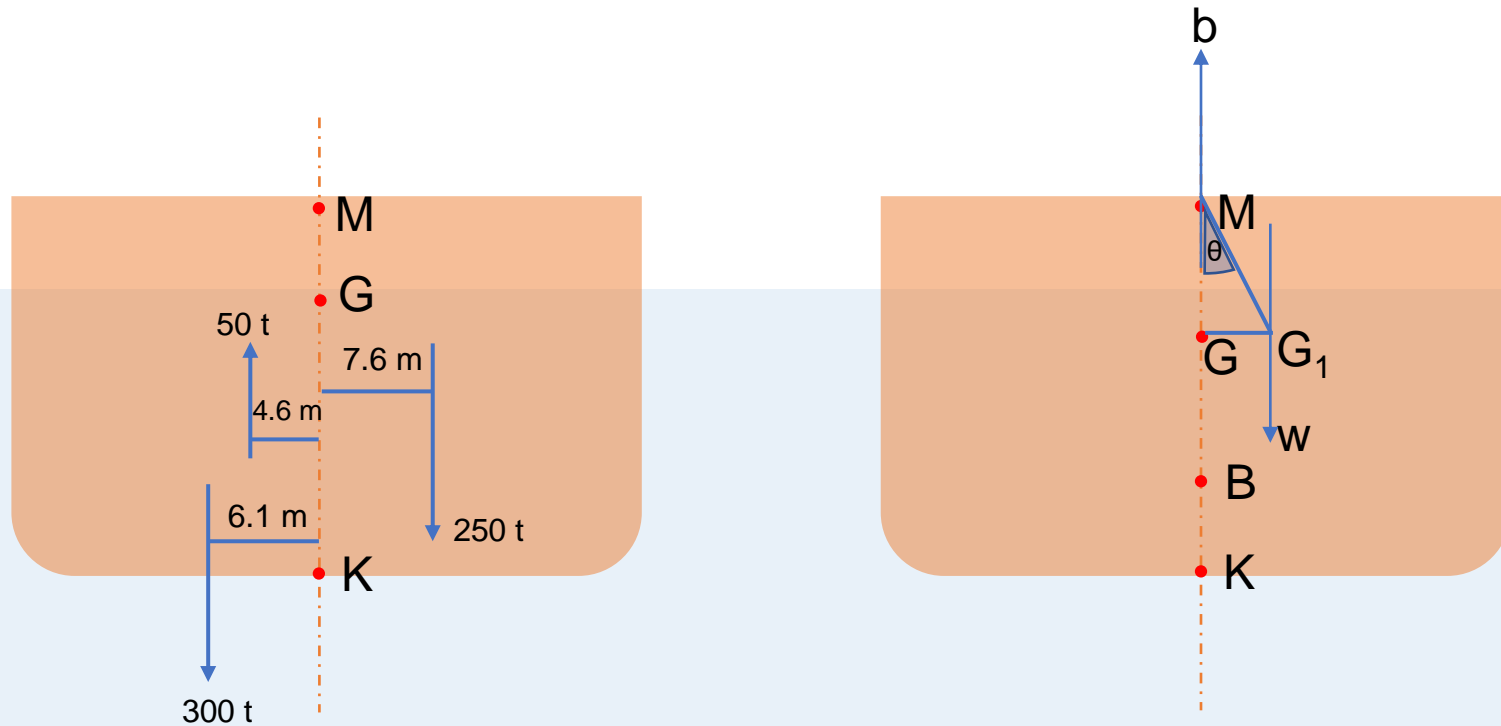
PROBLEM. Sebuah drillship dengan displacement 8000 tonnes memiliki $KM = 8.7$ m dan $KG = 7.6$ m. Drillship ini melakukan bongkar muat dengan rincian sebagai berikut:

- Memuat 250 tonnes suplai peralatan dengan $KG = 6.1$ dan titik berat melintang 7.6 m ke arah starboard dari centerline
- Memuat 300 tonnes bahan bakar dengan $KG = 0.6$ m dan titik berat melintang 6.1 m ke arah portside dari centerline
- Membuang 50 tonnes ballast dengan $KG = 1.2$ m dan titik berat melintang 4.6 m ke arah portside dari centerline.

Tentukan sudut listnya!

Problem 2: angle of list ketika pemindahan muatan horizontal

STEP 1. Membuat sketsa bongkar muat barang secara transversal. Gambar berikut menunjukkan sketsa bongkar muat yang telah dideskripsikan di atas.



Problem 2: angle of list ketika pemindahan muatan horizontal

STEP 2. Menghitung final KG akibat pemindahan muatan

Item	Berat (tonnes) [(+) untuk muat, (-) untuk bongkar]	KG (m)	Momen terhadap Keel (tonnes. M)
Displacement	+8000	7.6	+60,800
Suplai	+250	6.1	+1525
Bahan bakar	+300	0.6	+180
Ballast	-50	1.2	-60
Total	8500 -		62,445

$$Final\ KG = \frac{Final\ Moment}{Final\ Displacement}$$

$$Final\ KG = \frac{62445}{8500}$$

$$Final\ KG = 7.35\ m$$

Problem 2: angle of list ketika pemindahan muatan horizontal

STEP 3. Menghitung momen muatan terhadap centerline

Item	Berat (tonnes) [(+)untuk muat, (-)untuk bongkar]	Lengan Momen (m) [(+) portside (-) starboard]	Momen terhadap centerline (tonnes.m)
Suplai	+250	-7.6	-1900
Bahan bakar	+300	+4.6	+1830
Ballast	-50	+6.1	-230
Final Moment			-300

$$GG_1 = \frac{w \times d}{\Delta} = \frac{\text{Final Moment}}{\text{Final Displacement}}$$

$$\overline{GG_1} = -\frac{300}{8500}$$

$$\overline{GG_1} = -0.035 \text{ m}$$

Problem 2: angle of list ketika pemindahan muatan horizontal

STEP 4. Menghitung sudut listing. Karena hasil $\overline{GG_1}$ menunjukkan nilai negatif maka listing akan mengarah ke starboard.

$$\tan \theta = \frac{\overline{GG_1}}{\overline{GM}}$$

$$\tan \theta = \frac{0.035}{1.35}$$

$$\tan \theta = 0.0259$$

$$\theta = 1.48^\circ$$

JAWAB: Listing terjadi 1.48 derajat ke arah starboard.

Problem 3: angle of list pada perpindahan muatan curah

STEP 2. Menghitung jarak GG_1 dan G_1G_2 .

Horizontal shift

$$\overline{GG_1} = \frac{w \times d_{hor}}{\Delta}$$

$$\overline{GG_1} = \frac{80 \times 6.1}{8000}$$

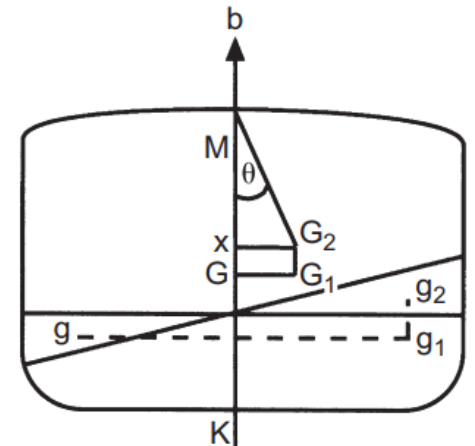
$$\overline{GG_1} = 0.061 \text{ m}$$

Vertical shift

$$\overline{G_1G_2} = \frac{w \times d_{vert}}{\Delta}$$

$$\overline{G_1G_2} = \frac{80 \times 1.5}{8000}$$

$$\overline{G_1G_2} = 0.015 \text{ m}$$



Problem 3: angle of list pada perpindahan muatan curah

STEP 3. Menghitung jarak x_{G2} dan x_M untuk mengetahui nilai $\tan \theta$

Menghitung x_{G2}

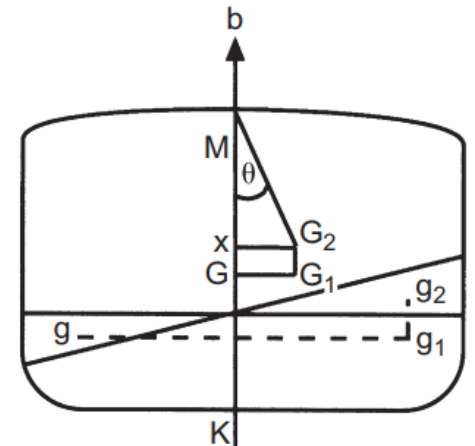
$$\overline{xG_2} = \overline{GG_1}$$
$$\overline{xG_2} = 0.061 \text{ m}$$

Menghitung x_M

$$\overline{xM} = \overline{GM} - \overline{Gx}, \text{ dimana } \overline{Gx} = \overline{G_1G_2}$$

$$\overline{xM} = 0.5 - 0.015$$

$$\overline{xM} = 0.485 \text{ m}$$



Problem 3: angle of list pada perpindahan muatan curah

STEP 4. Menghitung sudut list

$$\tan \theta = \frac{\overline{xG_2}}{\overline{xM}}$$

$$\tan \theta = \frac{0.061}{0.485} = 0.126$$

$$\theta = 7.18^\circ$$

JAWAB: sudut list $\theta = 7.18^\circ$

Problem 4

Please read on your own!

- Lecture notes page 6-7

Questions?

Listing (2):
- Deck Crane Lifting
- Angle of Loll

Teori Bangunan Apung 2

2020

Learning Purpose

- To calculate angle of list while deck crane in operation
- To understand angle of loll
- To distinguish angle of list and angle of loll

Problem 5: angle of list while deck crane in operation

PROBLEM. Kapal yang memiliki crane di atas deck-nya dengan displacement = 9900 tonnes memiliki $KM = 7.3$ m dan $KG = 6.4$ m. Kapal sedang bersandar dan harus memuat 2 container dengan berat masing-masing 50 tonnes. Kapal sudah melakukan loading 1 container yang diletakkan di atas decknya dengan $KG = 9$ m dan titik berat melintang 6 m ke portside dari centerline.

Crane akan mengangkat container kedua dengan berat 50 tonnes, dengan jangkauan crane 12 m dari centerline ke portside dan 15 m dari Keel.

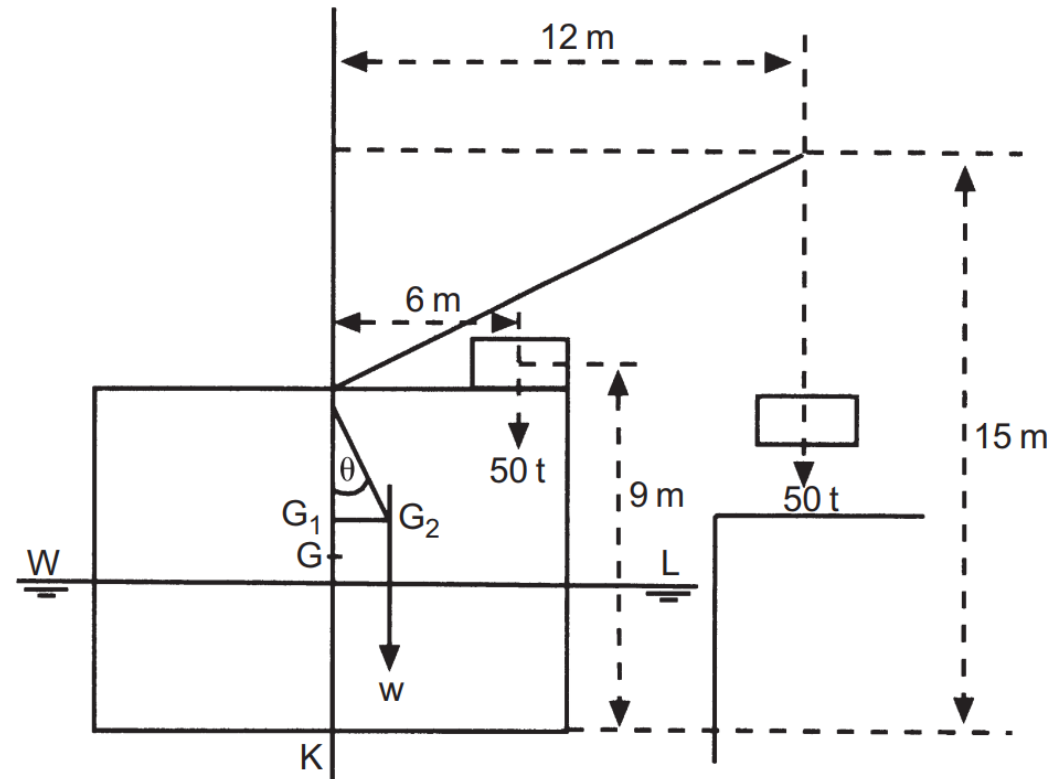
Tentukan sudut list yang terjadi ketika operasi lifting ini!



Problem 5: angle of list while deck crane in operation

STEP 1. Menggambar sketsa operasi lifting.

Momen max lifting → titik terjauh dari keel dan centerline
dimana beban diangkat.



Problem 5: angle of list while deck crane in operation

STEP 2. Menghitung kenaikan titik G menggunakan tabel momen terhadap keel

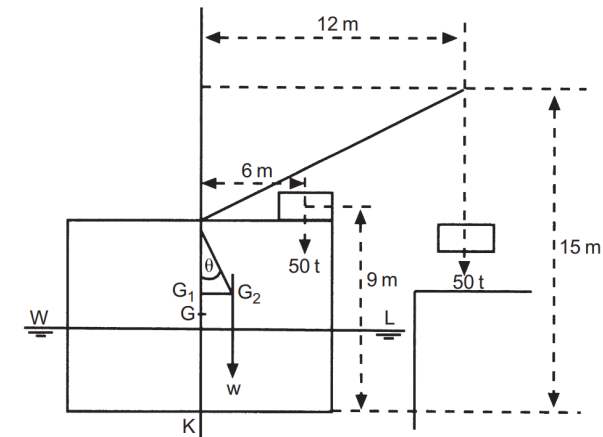
Item	Berat (tonnes) [(+) untuk muat, (-) untuk bongkar]	KG (m)	Momen terhadap Keel (tonnes. M)
Displacement	9900	6.4	63,360
Container on deck	+50	9.0	+450
Container on crane	+50	15	+750
Total	10.000	-	64,560

$$Final\ KG = \frac{Final\ Moment}{Final\ Displacement}$$

$$Final\ KG = \frac{64560}{10000}$$

$$Final\ KG = KG_1 = 6.456\ m$$

$$GG_1 = KG_1 - KG = 6.456 - 6.4 = 0.056\ m$$



Problem 5: angle of list while deck crane in operation

STEP 3. Menghitung momen terhadap centerline.

Item	Berat (tonnes) [(+)untuk muat, (-)untuk bongkar]	Lengan Momen (m) [(+) portside (-) starboard]	Momen terhadap centerline (tonnes.m)
Displacement	9900	0	0
Container on deck	+50	+6	+600
Container on crane	+50	+12	+300
Listing Moment			+900

Berdasarkan sketsa, final momen merupakan produk dari:

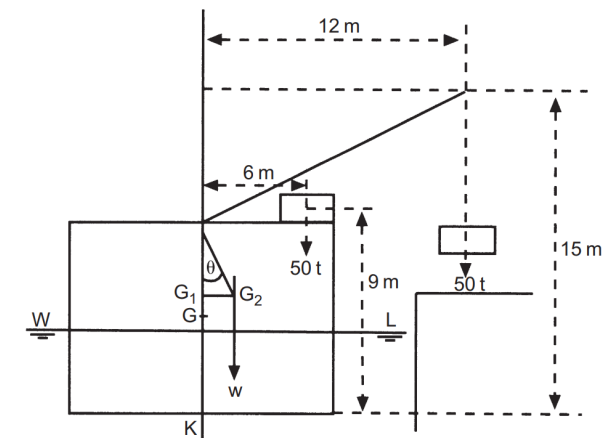
$$Listing\ Moment = Final\ Displacement \times G_1 G_2$$

Sehingga:

$$900 = 10000 \times G_1 G_2$$

$$G_1 G_2 = \frac{900}{10000}$$

$$G_1 G_2 = 0.09\ m$$



Problem 5: angle of list while deck crane in operation

STEP 3. Menghitung GM dan perpindahannya untuk menghitung segitiga listing.

$$\text{Original GM} = \text{KM} - \text{KG} = 7.3 - 6.4$$

$$\text{GM} = 0.9 \text{ m}$$

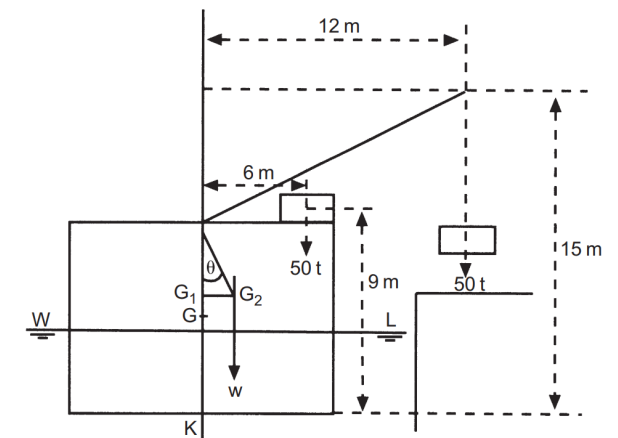
$$\text{GG}_1 = \text{KG}_1 - \text{KG} = 6.456 - 6.4 = 0.056 \text{ m}$$

Berdasarkan segitiga listing G_1G_2M , maka GM yang baru adalah:

$$\text{New GM} = G_1M = \text{GM} - \text{GG}_1$$

$$= 0.9 - 0.056$$

$$G_1M = 0.844 \text{ m}$$



Problem 5: angle of list while deck crane in operation

STEP 4. Menghitung sudut listing. Dari parameter segitiga listing yang telah diketahui,

$$\tan \theta = \frac{G_1 G_2}{G_1 M}$$

$$\tan \theta = \frac{0.09}{0.844}$$

$$\tan \theta = 0.1066$$

$$\theta = 6.084^\circ$$

Kesimpulan dari 5 contoh di atas

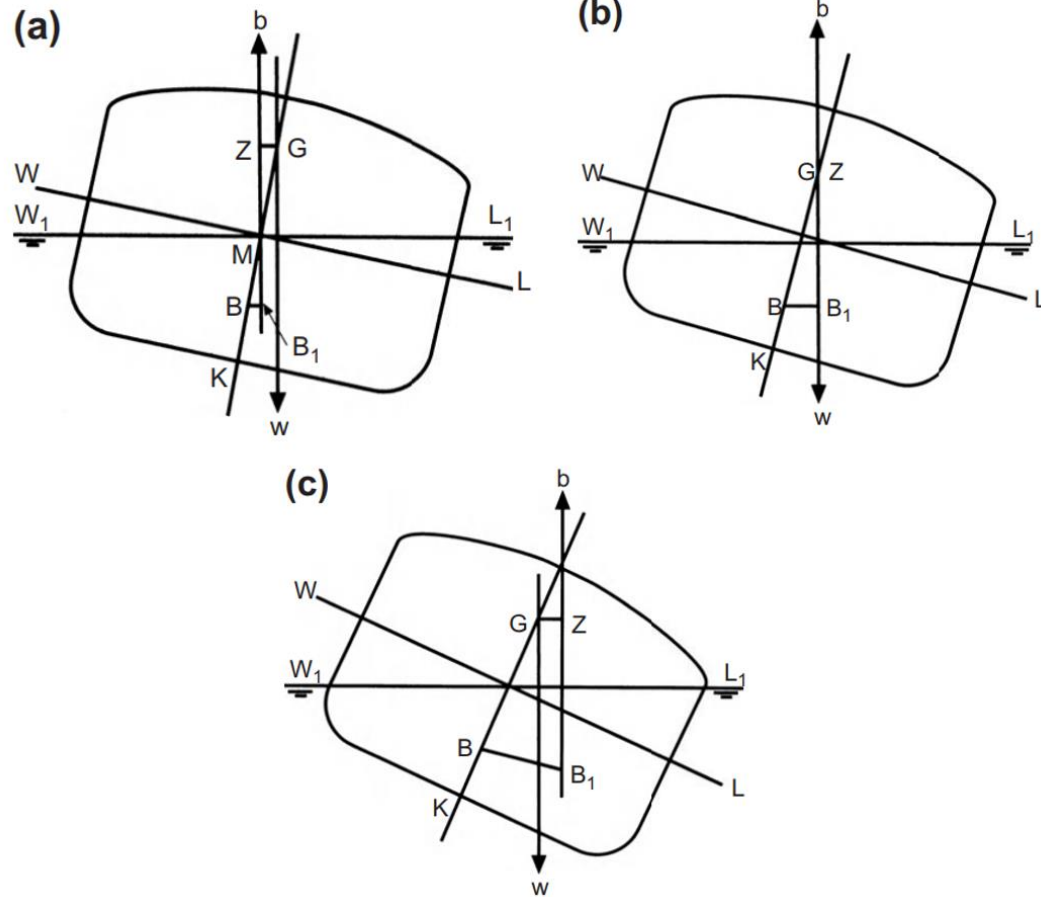
Dari ke-4 contoh yang telah dijelaskan di atas, kesimpulan di bawah ini menjadi sangat penting untuk diingat dalam perhitungan listing:

1. Titik G dari bangunan apung akan berubah mendekati titik berat dari muatan yang ditambahkan
2. Titik G dari bangunan apung akan berubah menjauhi titik berat dari muatan yang dibongkar
3. Titik G akan bergerak parallel dengan muatan yang dipindahkan
4. Ketika sebuah muatan dipindah ke **bawah**, maka titik G akan juga ikut turun sehingga stabilitas kapal menjadi lebih **besar**
5. Ketika sebuah muatan dipindah ke **atas**, maka titik G akan juga ikut naik sehingga stabilitas kapal menjadi **berkurang**
6. Perubahan titik G, baik secara horizontal maupun vertical dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\overline{GG_1} = \frac{w \times d}{\Delta} \dots (1)$$

Perhitungan angle of Loll

Perhitungan angle of loll



$$\tan \theta_{loll} = \sqrt{\frac{2GM_{negative}}{BM}}$$

θ_{loll} = Angle of loll (degrees)

$GM_{negative}$ = Negative GM

e

BM = BM ketika kondisi upright

Angle of list vs angle of loll

Parameter	Angle of...	
	List	Loll
Titik G	Titik G berpindah ke salah satu sisi kapal akibat perpindahan muatan	Titik G terletak di centerline Titik G berhimpitan dengan titik M, $KG = KM$
Garis GM	Nilai GM Positive, yaitu titik G dibawah titik M dan berada di stable equilibrium	Nilai $GM = 0$ karena G berhimpitan dengan M. Jika titik G naik di atas titik M, kapal akan terbalik
Sudut oleng	Ketika sudut list terjadi, misal 3° ke arah portside, maka tidak terjadi osilasi sampai ke 3° arah starboard.	Sudut oleng akan terjadi di dua sisi yaitu 3° ke arah portside serta 3° ke arah starboard.
Cara mengatasinya	Memberikan counterweight, yaitu beban di sisi seberang kapal. Misal kapal list 3° ke arah portside, maka beban diberikan ke arah starboard hingga kembali upright	Titik G harus dibawa ke titik M, dengan menambah beban di bawah titik G, mengurangi beban di atas titik G, memberikan ballast serta menghilangkan free surface effect

Questions?

Moment of static stability

TEORI BANGUNAN APUNG 2

Raditya Danu Riyanto

Departemen Teknik Kelautan

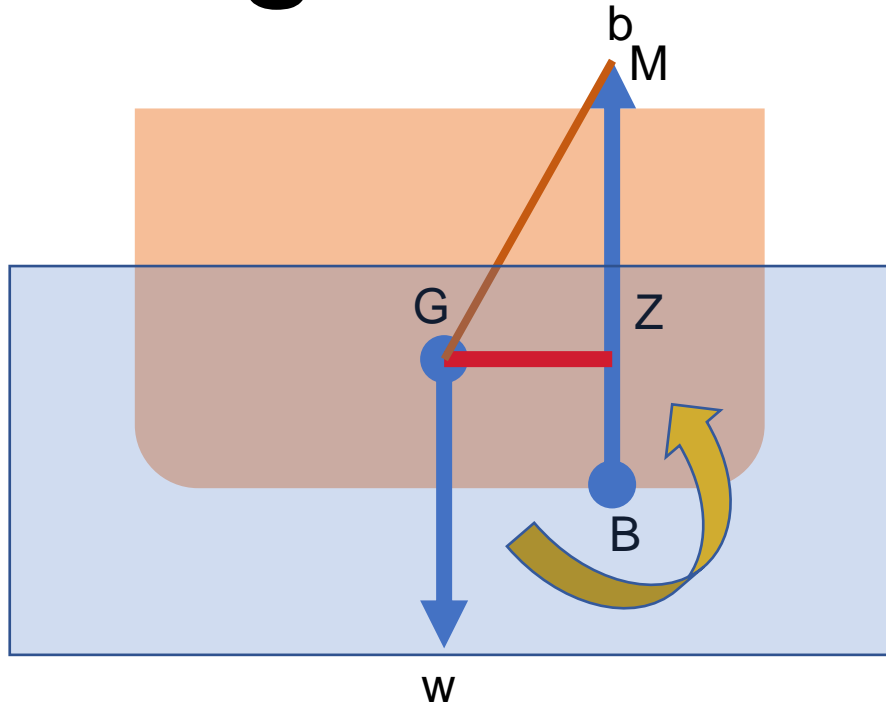
FTK ITS

2020

Learning Purpose

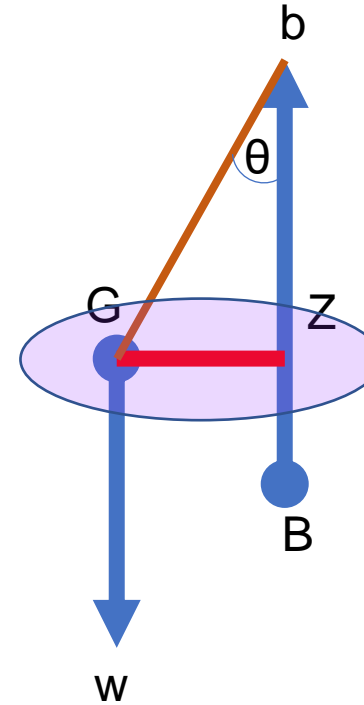
1. To calculate moment of static stability at ***small*** angle of heel
2. To calculate moment of static stability at ***large*** angle of heel

Moment of static stability at small angle of heels



Righting moment: moment that makes the ship come back to her initial equilibrium

force $b =$ force w , to keep ship afloat

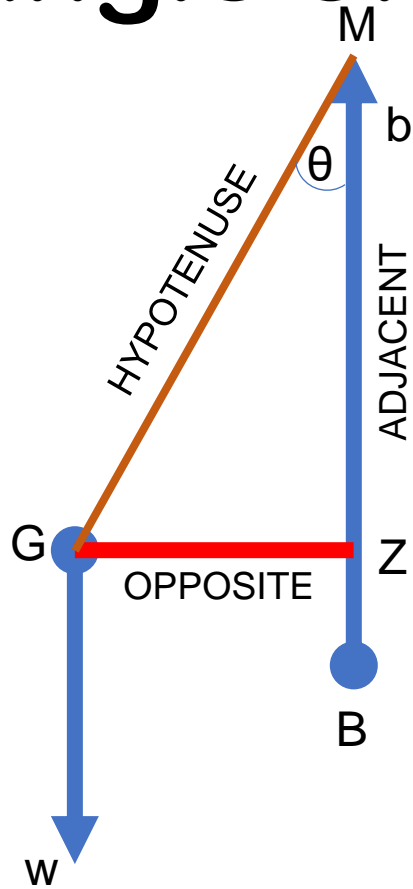


$GZ =$ Righting arm

Righting arm: The distance between the forces of buoyancy and gravity

the righting arm is a perpendicular line drawn from the center of gravity to the point of intersection on the force of buoyancy line.

Moment of static stability at small angle of heels – segitiga stabilitas



$$\cos \theta = \frac{\text{ADJACENT}}{\text{HYPOTENUSE}} = \frac{MZ}{GM}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{OPPOSITE}}{\text{ADJACENT}} = \frac{GZ}{MZ}$$

$$\sin \theta = \frac{\text{OPPOSITE}}{\text{HYPOTENUSE}} = \frac{GZ}{GM}$$

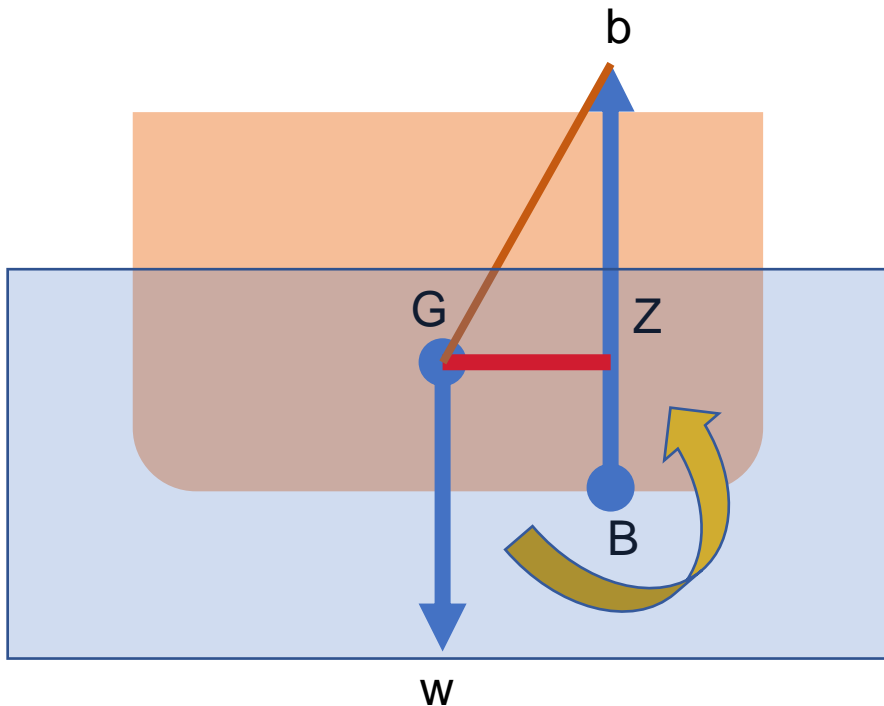
$$\text{Righting Arm (m or ft)} = GZ = GM \sin \theta$$

Moment of static stability at small angle of heels – momen pengembali

The Righting Moment/Stability moment is the best measure of a ship's overall stability.

It describes the ship's true tendency to resist inclination and return to equilibrium.

The Righting Moment is equal to the ship's Righting Arm multiplied by the ship's displacement.



$$RM(\text{ton. m}) \text{ or } (\text{kips. ft}) \\ = GZ(\text{m or ft}) \times \Delta(\text{ton or kips})$$

Moment of static stability at small angle of heels – contoh problem

Kapal dengan displacement 5000 tonnes memiliki $KG = 5.5$ m dan $KM = 6.0$ m. Hitunglah momen stabilitas pada sudut 5° !

$$GM = KM - KG = 6.0 - 5.5 = 0.5 \text{ m}$$

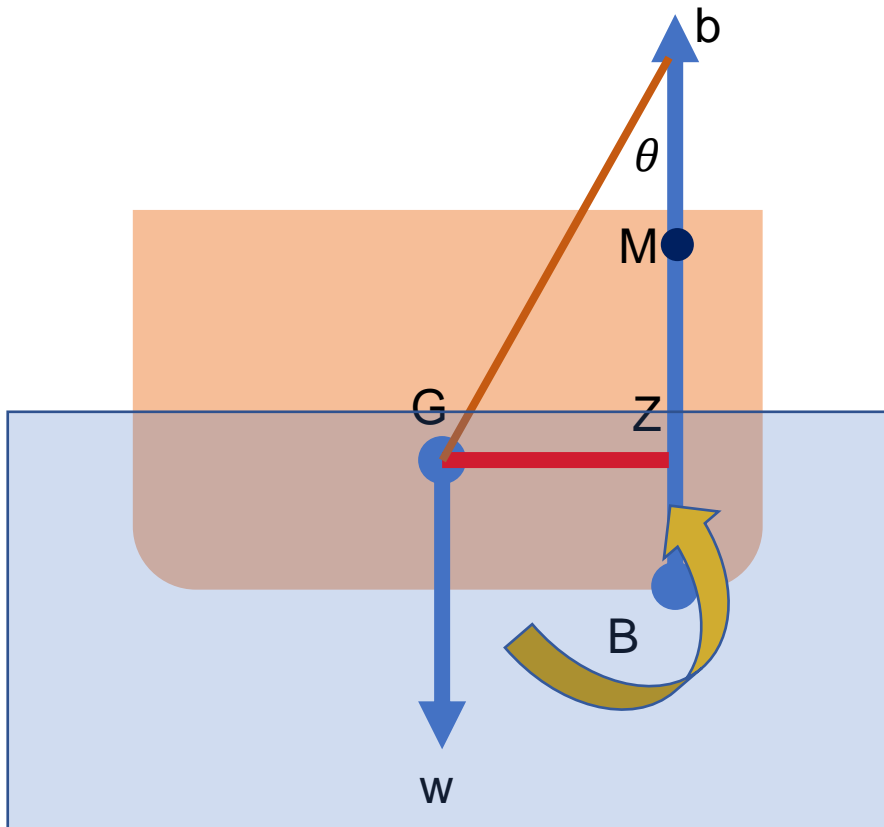
$$\text{Righting Moment} = \Delta \times MG \sin \theta$$

$$\text{Righting Moment} = 5000 \times 0.5 \sin 5$$

$$\text{Righting Moment} = 217 \text{ tonnes.m}$$

Maka momen stabilitas kapal pada sudut oleng $5^\circ = 217$ tonnes.m

Moment of static stability at large angle of heels



Pada sudut oleng lebih dari 15° , asumsi tidak dapat digunakan lagi karena titik tangkap gaya apung akibat displacement tidak lagi memotong centerline di M, karena titik B sudah sangat jauh ke samping

Persamaan perhitungan momen of static stability berdasarkan *wall-sided formula*:

$$GZ = \left(GM + \frac{1}{2} BM \tan^2 \theta \right) \sin \theta$$

Moment of static stability at large angle of heels - example

Diketahui box dengan panjang 10 m memiliki karakteristik berikut:

Breadth = 6.4 m

Height = 4 m

Draft = 2.44 m

KG = 2 m

Dari data di atas, hitung lengan GZ dengan persamaan wall sided formula pada sudut 0 sampai 25° dan plotkan pada grafik dengan sumbu x sebagai fungsi sudut dan sumbu y sebagai fungsi GZ!

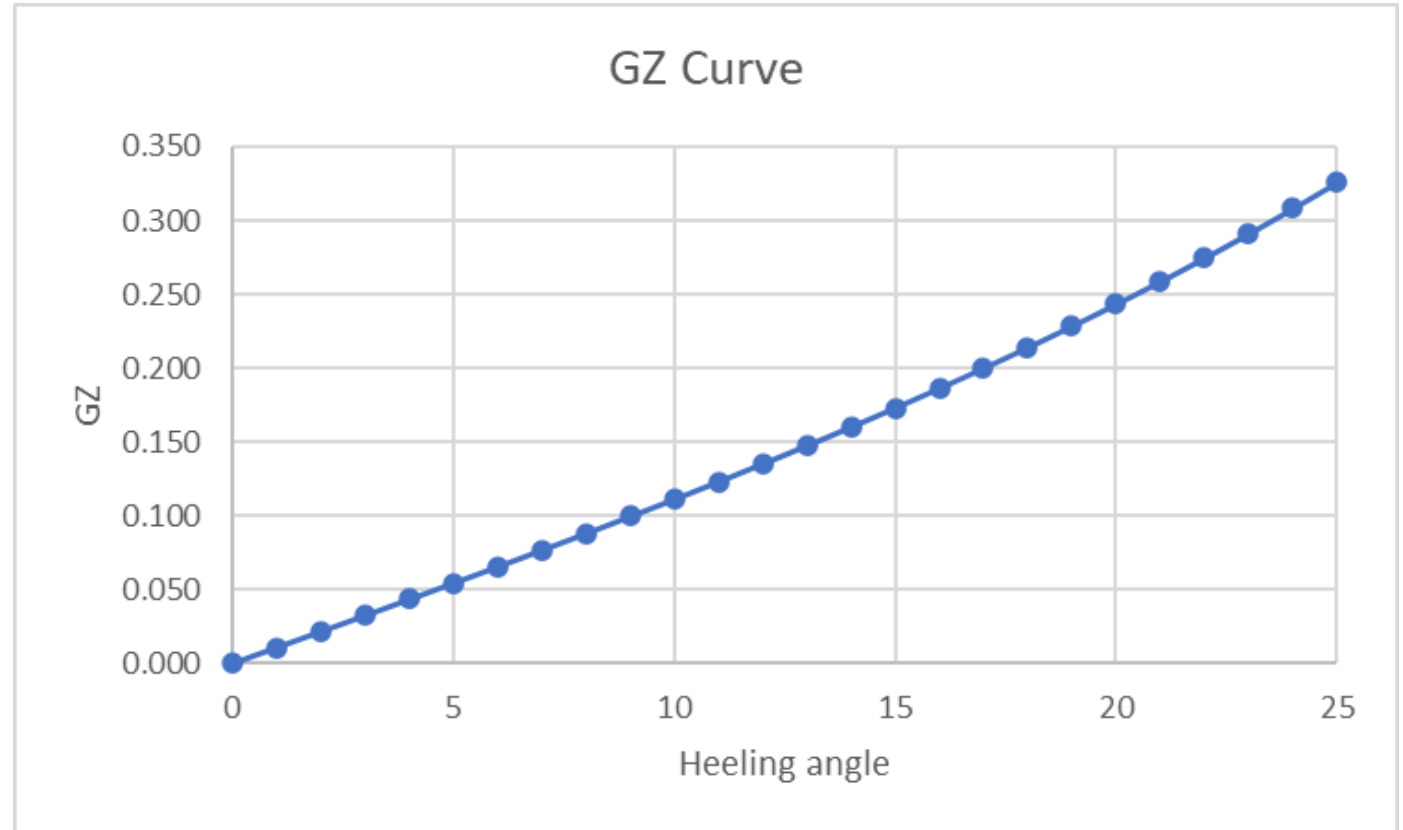
Moment of static stability at large angle of heels - example

$$BM = \frac{B^2}{12T}$$

$$GM = KB + BM - KG$$

1.399 m

0.619 m



Questions?

TRIM(1):
Intro and MTC
TEORI BANGUNAN APUNG 2

Raditya Danu Riyanto

2020

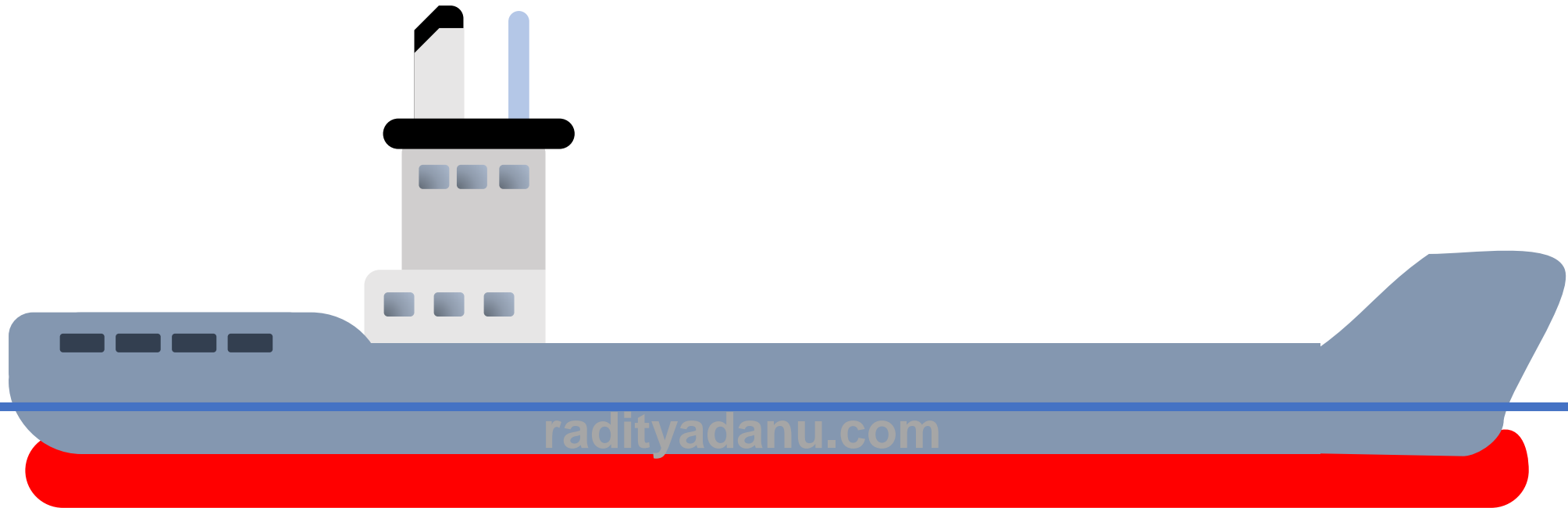
Lesson objectives

- Mengerti mekanisme trim
- Menghitung MTC (Moment to trim per 1 cm)

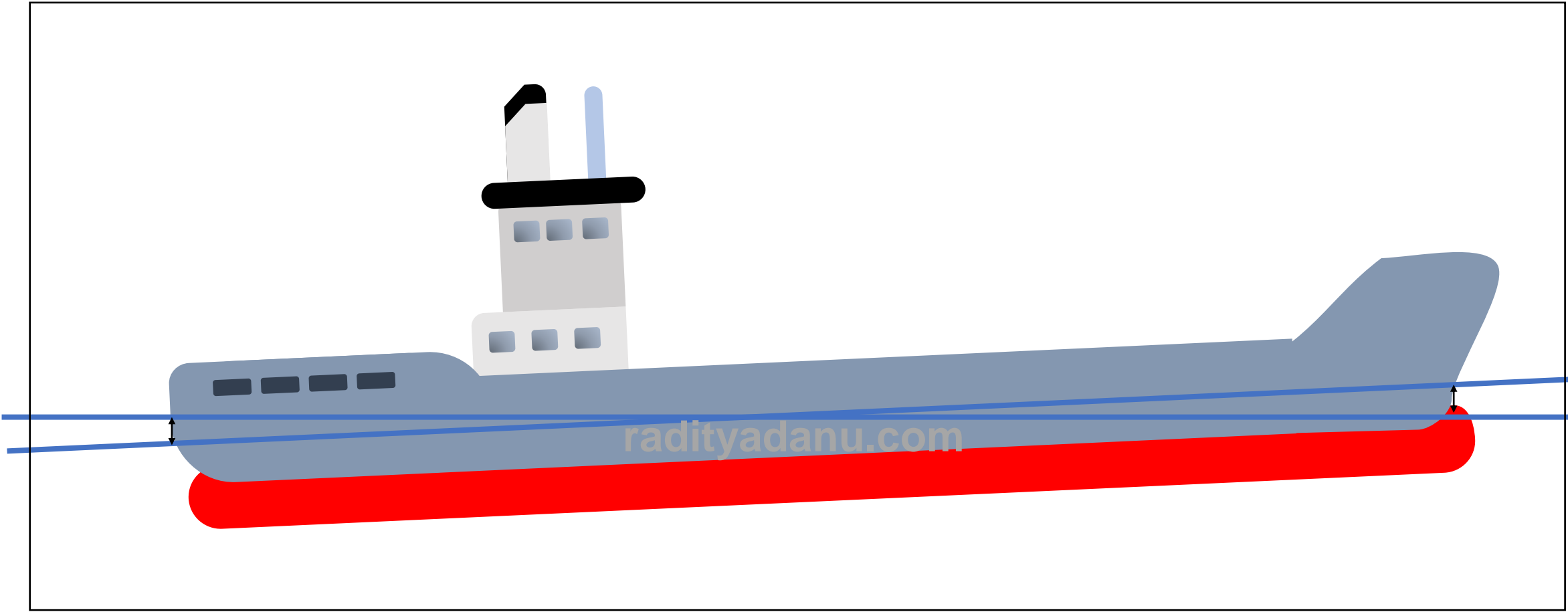
Apa itu trim?

- Secara harafiah, trim di istilah perkapalan di dalam Bahasa Indonesia berarti 'anggukan'
- Trim = List
 - List → transversal
 - Trim → longitudinal
- Trim diukur dengan perbedaan draft di AP dan FP

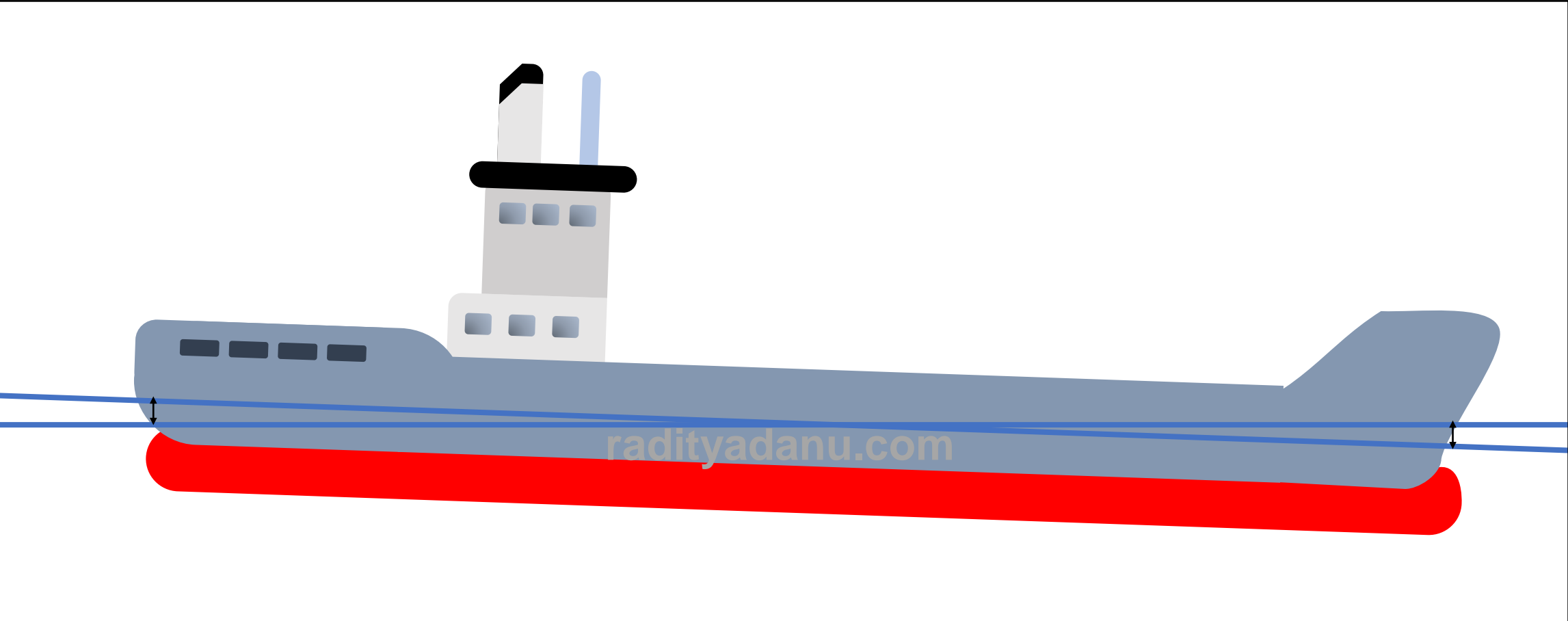
Even Keel



Trim by stern

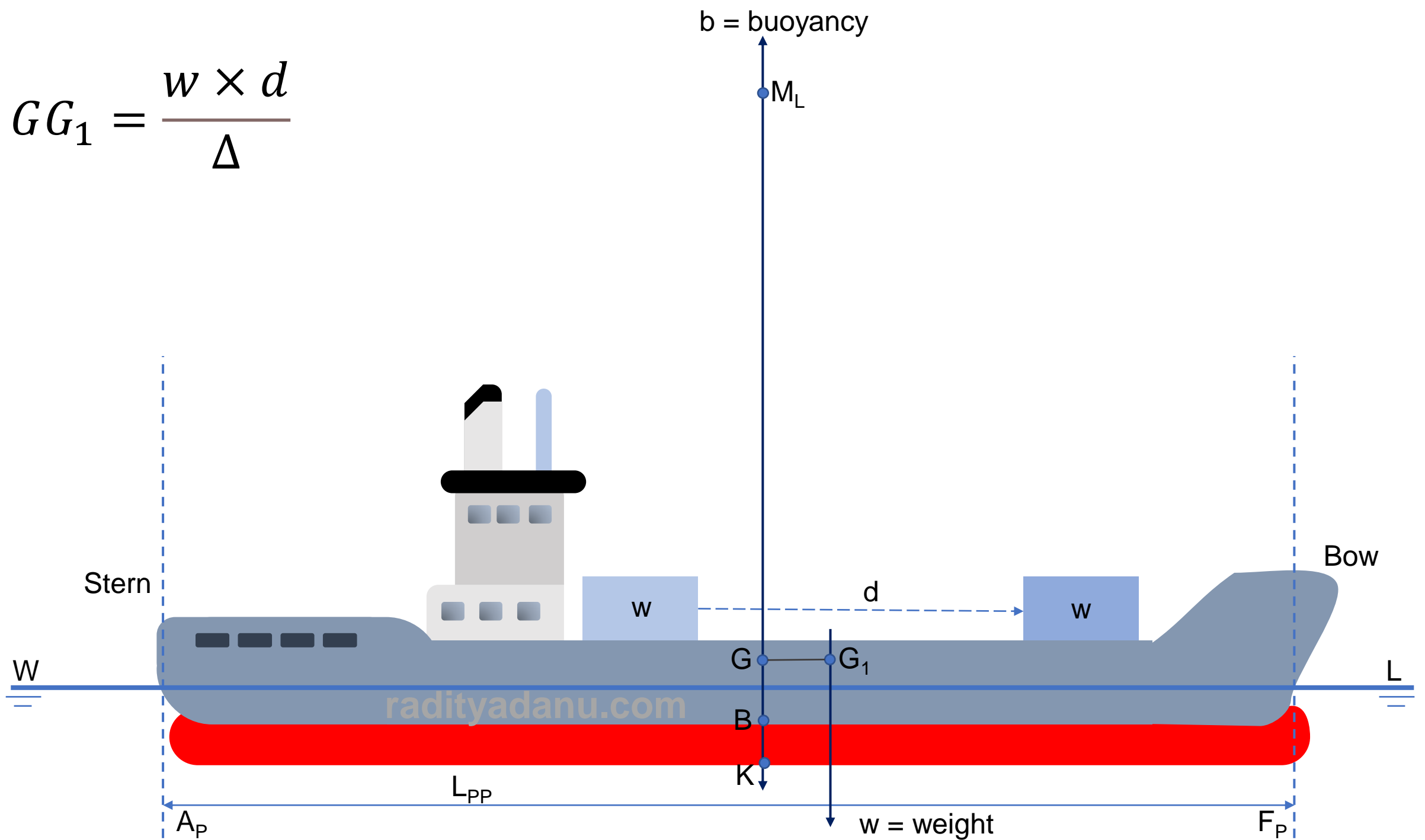


Trim by bow



Apa penyebab trim?

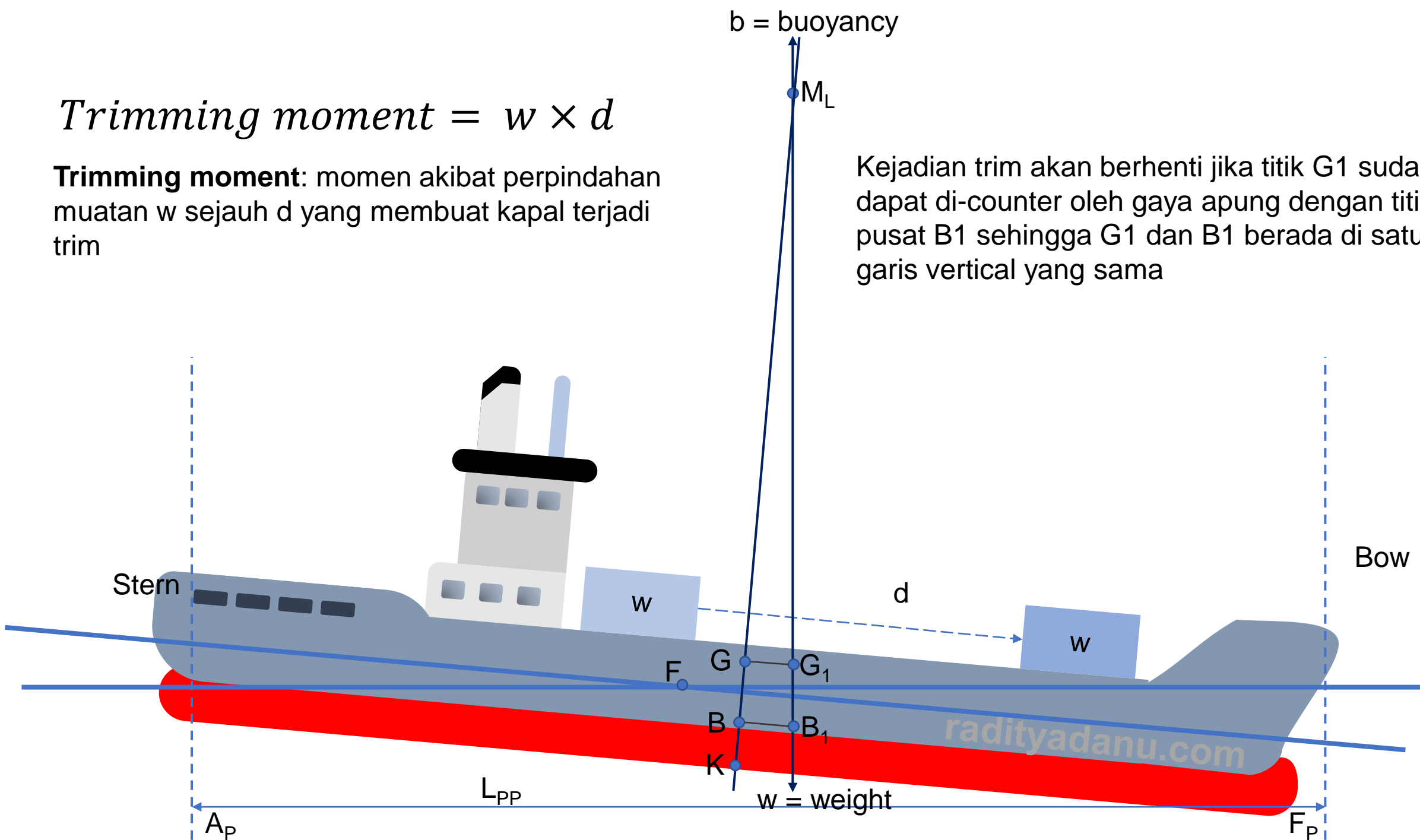
$$GG_1 = \frac{w \times d}{\Delta}$$



$$\text{Trimming moment} = w \times d$$

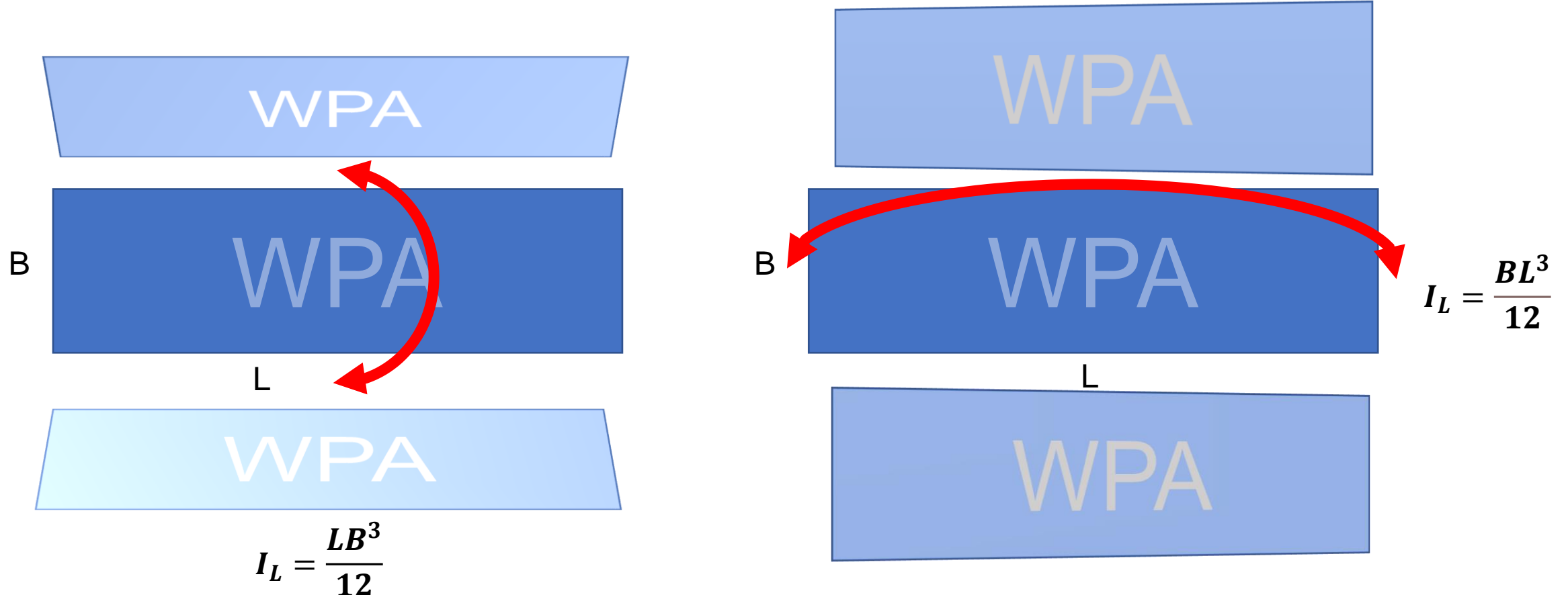
Trimming moment: momen akibat perpindahan muatan w sejauh d yang membuat kapal terjadi trim

Kejadian trim akan berhenti jika titik G_1 sudah dapat di-counter oleh gaya apung dengan titik pusat B_1 sehingga G_1 dan B_1 berada di satu garis vertical yang sama



Perhitungan BM_L pada box sederhana

- Perhitungan trim (dengan metode yg mirip dgn list) dimulai dengan menghitung BM
- Perhitungan BM Longitudinal yang dipangkatkan 3 adalah L



Perhitungan BM_L pada box sederhana

$$BM_L = \frac{I_L}{V}$$
$$BM_L = \frac{BL^3}{12 \times L \times B \times T}$$
$$BM_L = \frac{L^2}{12T}$$

UNTUK KAPAL DENGAN B vs L YANG BESAR:

Mathematically: nilai BML akan sangat tinggi karena panjang bangunan apung yang dipangkatkan 3

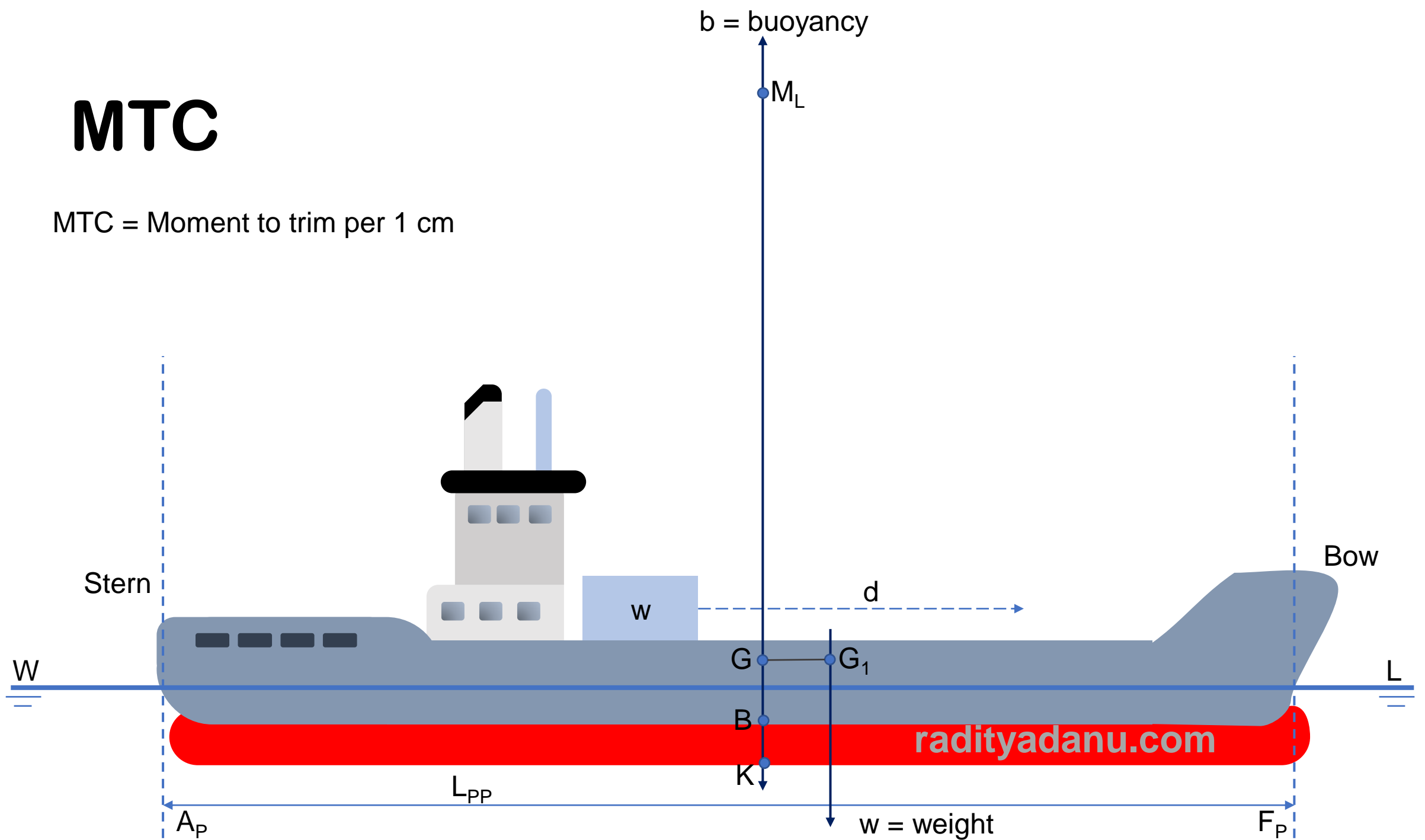
Physically: lengan momen pengembali pada trim sangat besar karena panjang bangunan apung akan sangat berbeda jauh jika dibandingkan dengan lebarnya

Akibatnya: jarak BG akan sangat kecil jika dibandingkan dengan BM_L nya

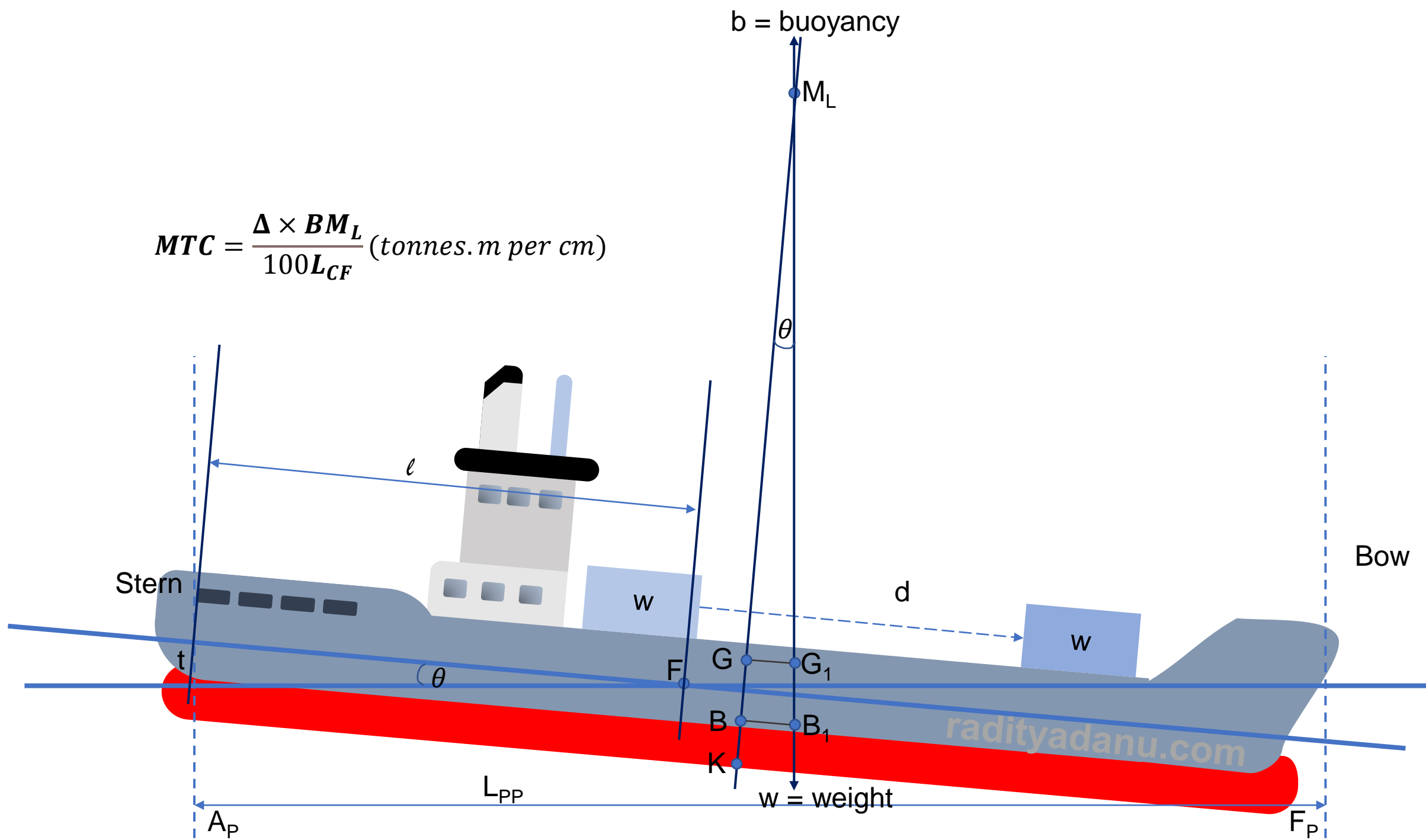
$$GM_L \approx BM_L$$

MTC

MTC = Moment to trim per 1 cm



$$MTC = \frac{\Delta \times BM_L}{100L_{CF}} \text{ (tonnes.m per cm)}$$



radityadanu.com

Perubahan draft akibat trim

$$\text{Change of draft AP (cm)} = \frac{L_{CF}}{L_{PP}} \times \text{Change of trim (cm)}$$

$$\text{Change of draft FP (cm)} = \frac{L_{PP} - L_{CF}}{L_{PP}} \times \text{Change of trim (cm)}$$

Contoh 1: menentukan perubahan draft karena perpindahan muatan di atas kapal

Kapal dengan LPP 126 m memiliki draft di kondisi even keel 6 m di AP dan FP. Posisi LCF 3 m ke arah AP dari midship. MTC = 240 tonnes.m. Displacement = 6000 tonnes. Tentukan draft baru jika muatan yang sudah ada di atas kapal seberat 120 tonnes, berpindah ke arah forward dengan jarak 45 m!

STEP 1. Menghitung trimming moment dan change of trim

$$\begin{aligned}\text{Trimming moment} &= w \times d \\ &= 120 \times 45 \\ &= 5400 \text{ tonnes.m ke arah forward}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Change of trim} &= \frac{\text{trimming moment}}{MTC} \\ &= \frac{5400}{240} \\ &= 22.5 \text{ cm ke arah forward}\end{aligned}$$

Contoh 1: menentukan perubahan draft karena perpindahan muatan di atas kapal

STEP 2. Menghitung change of draft di AP dan FP

$$\text{Change of draft AP} = \frac{L_{CF}}{L_{PP}} \times \text{change of trim}$$

$$= \frac{60}{126} \times 22.5$$

$$= 10.7 \text{ cm}$$

$$\text{Change of draft FP} = \frac{L_{PP} - L_{CF}}{L_{PP}} \times \text{change of trim}$$

$$= \frac{126 - 60}{126} \times 22.5$$

$$= \frac{66}{126} \times 22.5$$

$$= 11.8 \text{ cm}$$

Contoh 1: menentukan perubahan draft karena perpindahan muatan di atas kapal

STEP 3. Menghitung new draft akibat trim

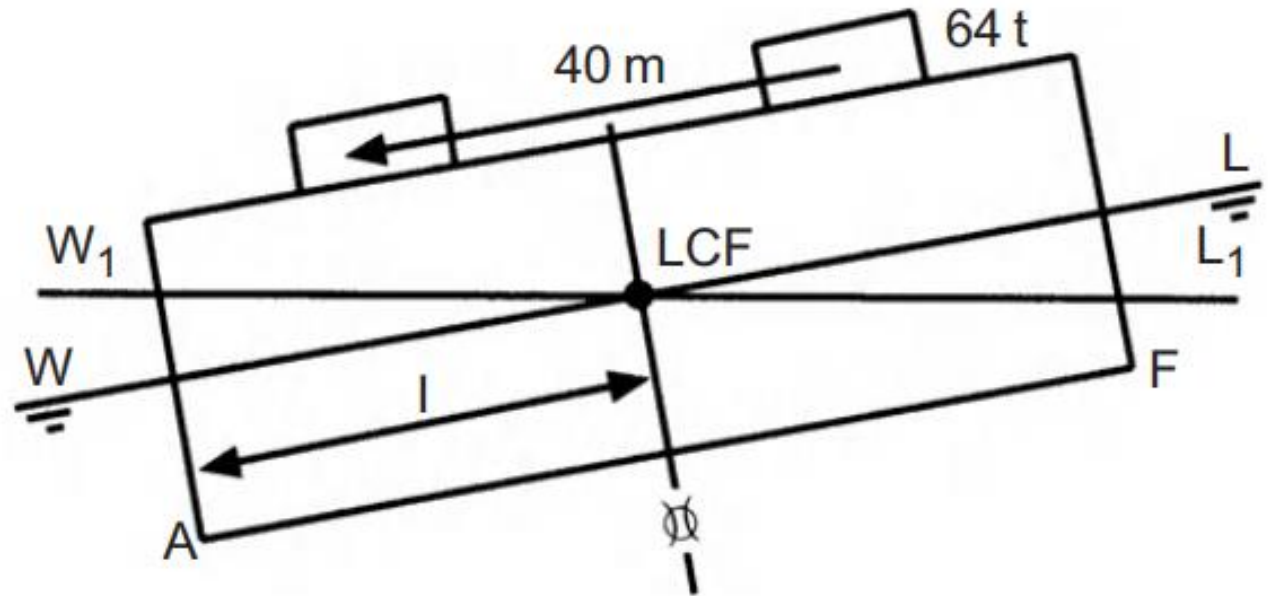
	AP (M)	FP (M)
ORIGINAL DRAFT	6.000	6.000
CHANGE DUE TO TRIM	-0.107	+0.118
NEW DRAFT	5.893	6.118

Menghitung MTC dan perubahan trim pada bangunan apung box sederhana

Bangunan apung sederhana berbentuk box dengan ukuran $L \times B \times H = 90 \times 10 \times 6$ m mengapung di air laut dengan kondisi even keel dengan draft = 3 m. Tentukan draft baru di AP dan FP jika terdapat muatan yang sudah ada di atas kapal dengan berat 64 tonnes bergeser 40 meter ke AP.

STEP 1. Menghitung BM_L

$$\begin{aligned} BM_L &= \frac{L^2}{12T} \\ &= \frac{90 \times 90}{12 \times 3} \\ &= 225 \text{ m} \end{aligned}$$



Menghitung MTC dan perubahan trim pada bangunan apung box sederhana

STEP 2. Menghitung MTC

$$\begin{aligned}\Delta &= L \times B \times T \times \rho_{sw} \\ &= 90 \times 10 \times 3 \times 1.025 \\ &= 2767.5 \text{ tonnes} \\ \text{MTC} &= \frac{\Delta \times BM_L}{100L_{PP}} \\ &= \frac{2767.5 \times 225}{100 \times 90} \\ &= 69.19 \text{ tonnes.m/cm}\end{aligned}$$

Menghitung MTC dan perubahan trim pada bangunan apung box sederhana

STEP 3. Menghitung perubahan draft

$$\begin{aligned}\text{Change of trim} &= \frac{w \times d}{MTC} \\ &= \frac{64 \times 40}{69.19} \\ &= 37 \text{ cm ke arah AP}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Change of draft AP} &= \frac{LCF}{LPP} \times \text{Change of trim} \\ &= \frac{45}{90} \times 37\end{aligned}$$

$$\text{Change of draft AP} = \text{Change of draft FP} = 18.5 \text{ cm}$$

Menghitung MTC dan perubahan trim pada bangunan apung box sederhana

STEP 4. Menghitung new draft akibat trim

	AP (M)	FP (M)
ORIGINAL DRAFT	3.000	3.000
CHANGE DUE TO TRIM	+0.185	-0.185
NEW DRAFT	3.185	2.815

Question?

TRIM(2):
Penambahan dan
Pengurangan Muatan
TEORI BANGUNAN APUNG 2

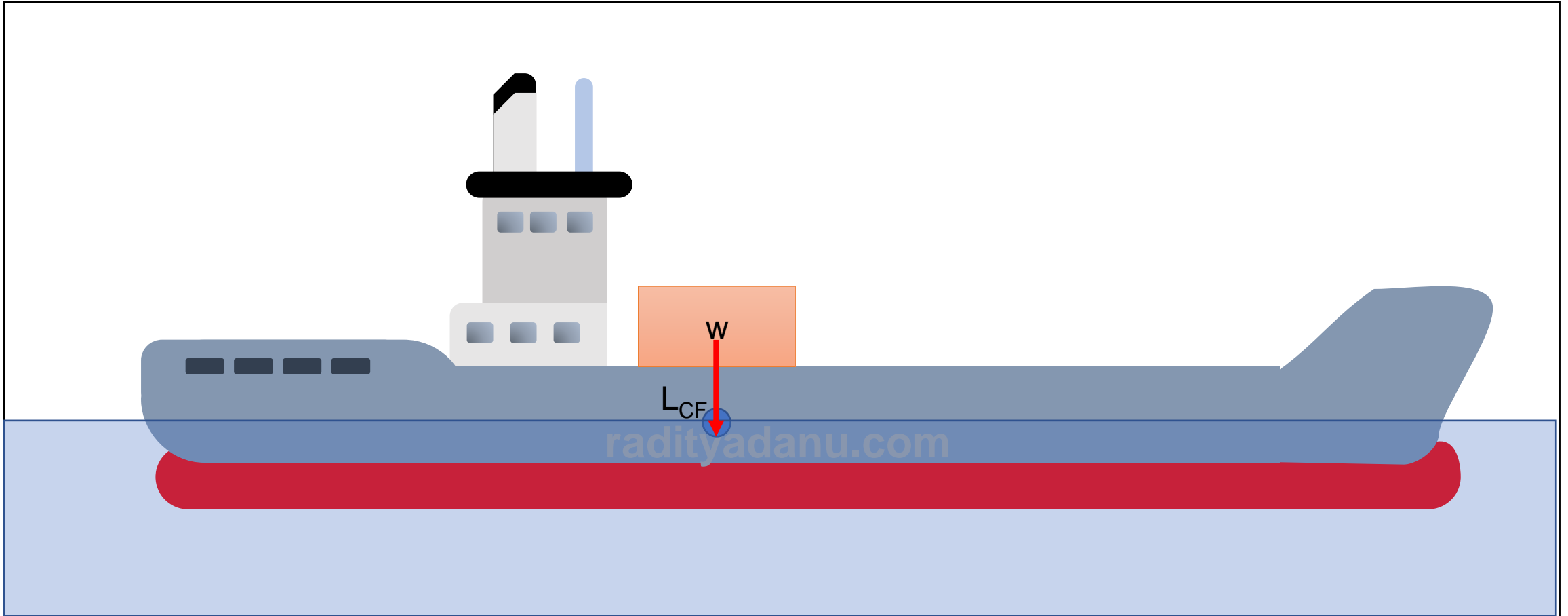
Raditya Danu Riyanto

2020

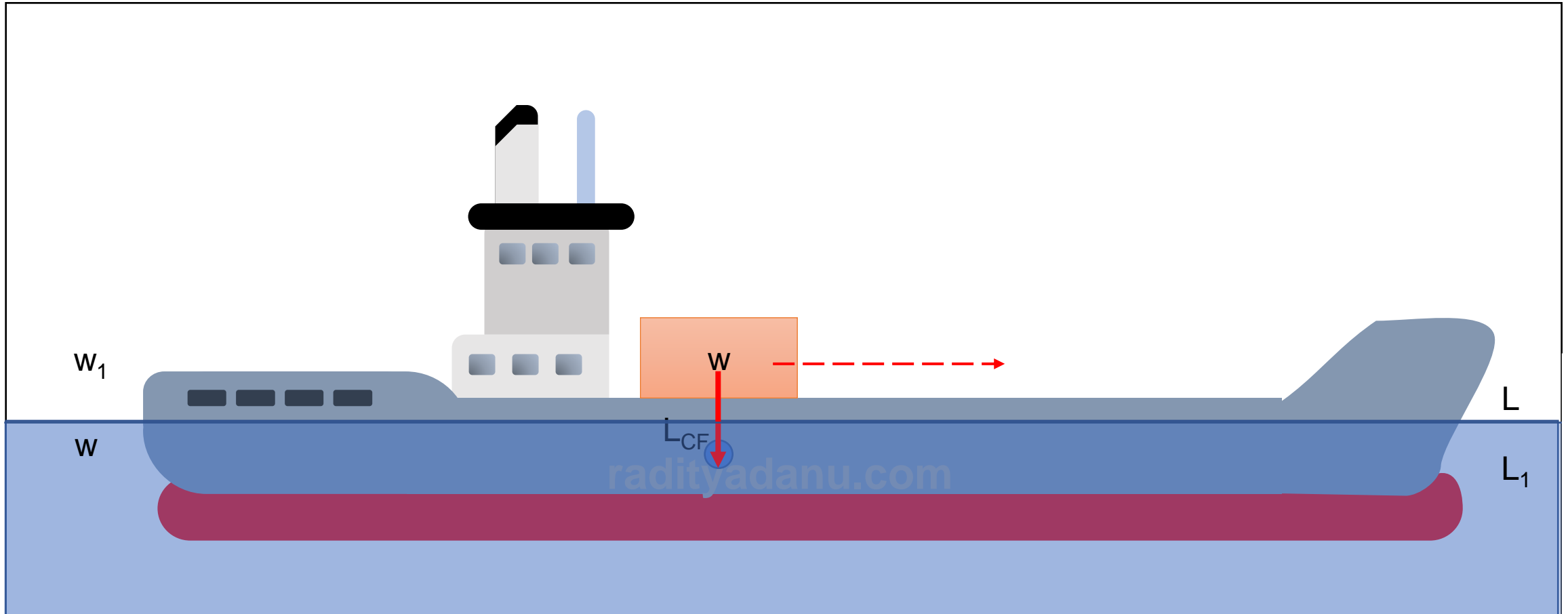
Lesson objectives

- Mengerti efek penambahan dan pengurangan muatan terhadap perubahan draft di AP dan FP
- Mengaplikasikannya pada kasus-kasus yang ada di lapangan

Ketika muatan ditambahkan tepat di atas L_{CF}



Ketika muatan dipindahkan dari L_{CF}

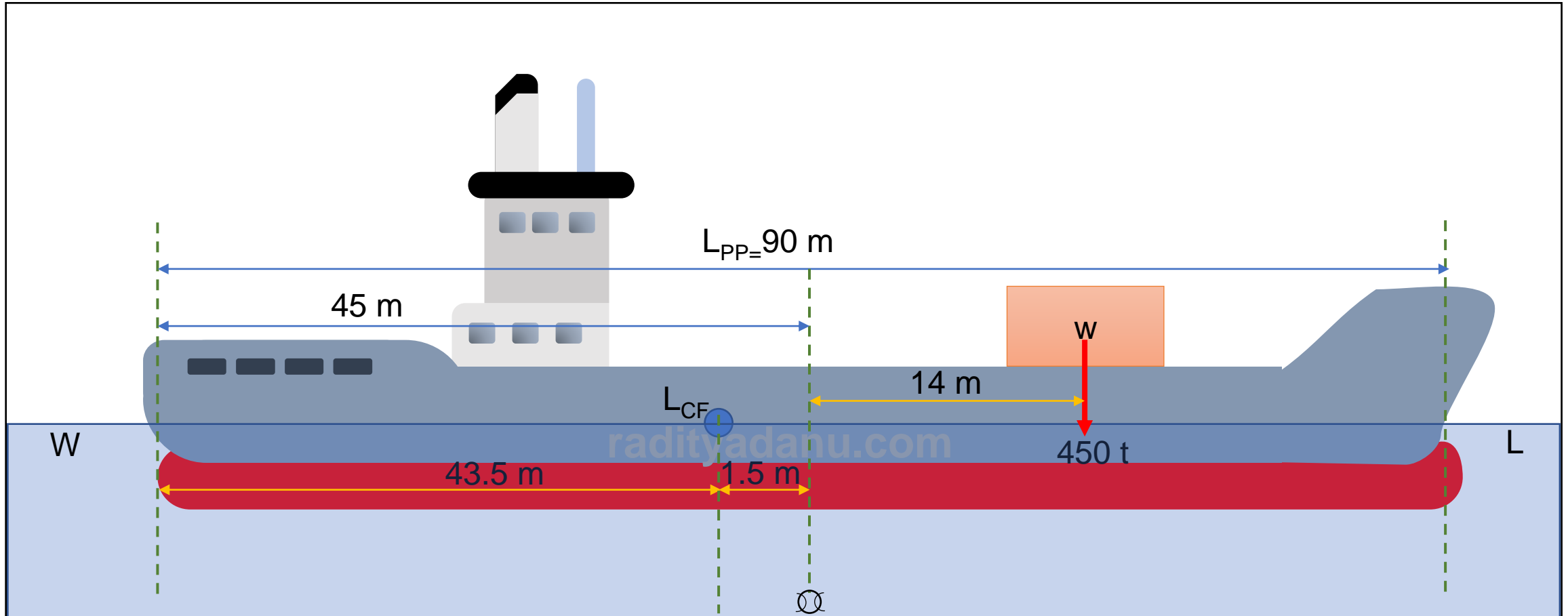


Persoalan 1: Penambahan muatan

Kapal dengan $L_{pp} = 90$ m pada kondisi even keel dengan draft di AP = FP = 5 m. LCF berada 1.5 m di belakang midship. Kapal tersebut memiliki TPC = 10 tonnes dan MTC = 120 tonnes.m, tentukan draft baru di AP dan FP jika terdapat beban 450 tonnes yang dimuat dengan posisi 14 m di depan midship.

Persoalan 1: Penambahan muatan

STEP 1: Menggambar sketsa



Persoalan 1: Penambahan muatan

STEP 2: Menghitung bodily sinkage

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

STEP 3: Menghitung change of trim

$$\begin{aligned}\text{Change of trim} &= \frac{\text{Trimming moment}}{MTC} \\ &= \frac{450 \times 15.5}{120} \\ &= 58.12 \text{ cm mengarah ke haluan}\end{aligned}$$

Persoalan 1: Penambahan muatan

STEP 4: Menghitung change of draft

$$\begin{aligned}\text{Change of draft AP} &= \frac{L_{CF}}{L_{PP}} \times \text{Change of trim} \\ &= \frac{43.5}{90} \times 58.12 \\ &= 28.09 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Change of draft FP} &= \frac{L_{PP} - L_{CF}}{L_{PP}} \times \text{Change of trim} \\ &= \frac{90 - 43.5}{90} \times 58.12 \\ &= 30.03 \text{ cm}\end{aligned}$$

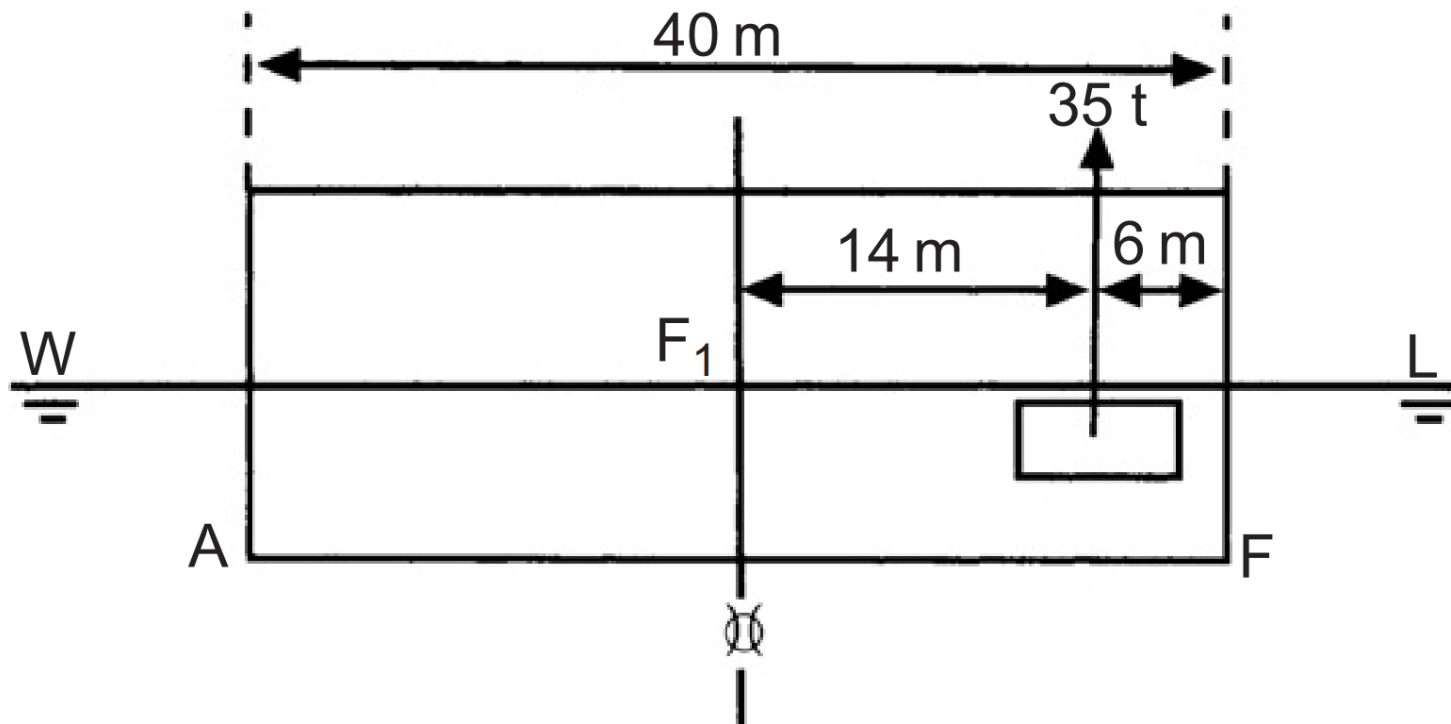
STEP 5: Menghitung perubahan draft di AP dan FP

Posisi	AP	FP
Original draft (m)	5.000	5.000
Bodily sinkage (m)	+0.450	+0.450
Change due to trim (m)	-0.281	+0.300
New draft (m)	5.169	5.750

Persoalan 2: Pengurangan muatan

Bangunan apung berbentuk box sederhana dengan $L \times B \times H = 40 \times 6 \times 3$ m mengapung di air laut dengan draft 2 m pada kondisi even keel. Tentukan draft baru jika muatan yang ada dikurangi 35 tonnes dari posisi 6 m dari forward. $MTC = 8.4$ tonnes.m.

SKETSA:



Persoalan 2: Pengurangan muatan

STEP 1. Menentukan TPC

$$\begin{aligned} TPC &= \frac{WPA}{40 \times 6} \\ &= \frac{97.56}{240} \\ TPC &= 24.6 \text{ tonnes} \end{aligned}$$

STEP 2. Menghitung bodily rise

$$\begin{aligned} \text{Bodily rise} &= \frac{w}{TPC} \\ &= \frac{35}{24.6} \\ \text{Bodily rise} &= 1.42 \text{ cm} \end{aligned}$$

STEP 3. Menghitung change of draft di AP dan FP

$$\begin{aligned} \text{Change of trim} &= \frac{w \times d}{MTC} \\ &= \frac{35 \times 14}{8.4} \end{aligned}$$

$$\text{Change of trim} = 58.3 \text{ cm ke arah stern}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of draft AP} &= \frac{L_{CF}}{L_{OA}} \times \text{change of trim} \\ &= \frac{1}{2} \times 58.3 \text{ cm} \\ &= 29.15 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Change of draft FP} = 58.3 - 29.15 = 29.15 \text{ cm}$$

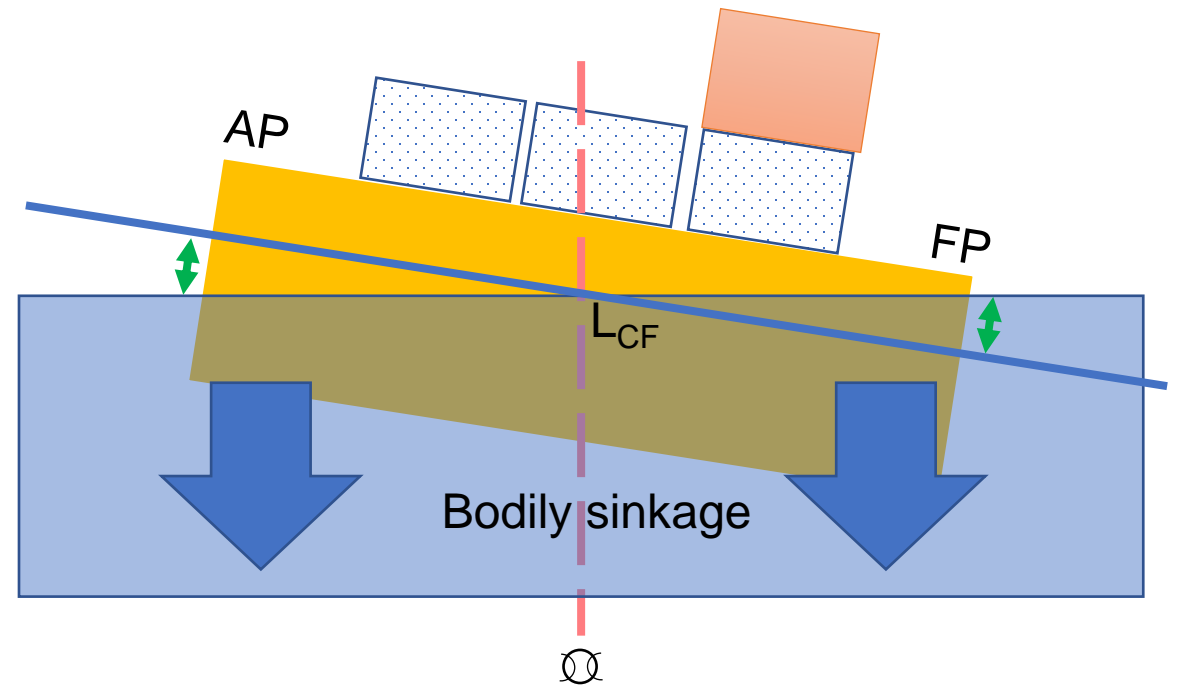
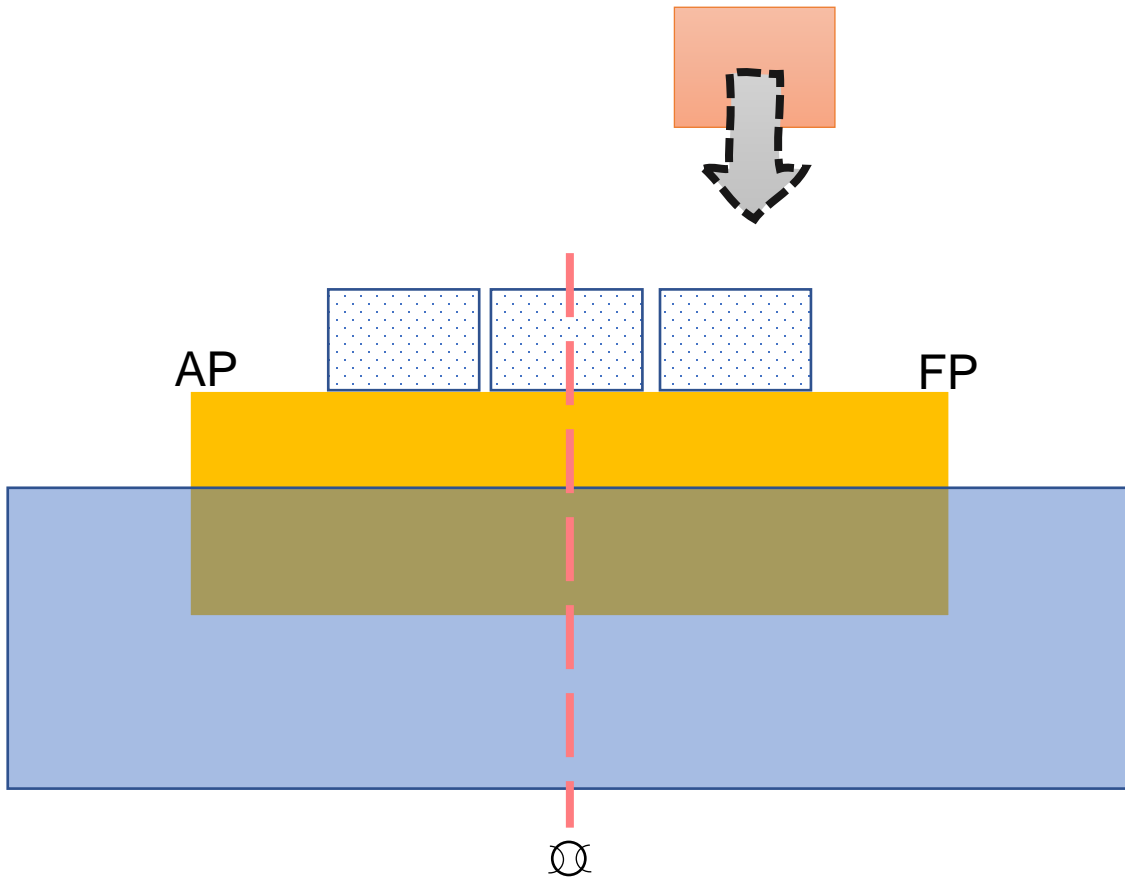
STEP 4: Menghitung draft baru di AP dan FP

Posisi	AP	FP
Original draft (m)	2.000	2.000
Bodily rise (m)	-0.140	-0.140
Change due to trim (m)	+0.290	-0.290
New draft (m)	2.150	1.570

Kata kunci: Penambahan muatan

Bodily sinkage dan *change of trim*.

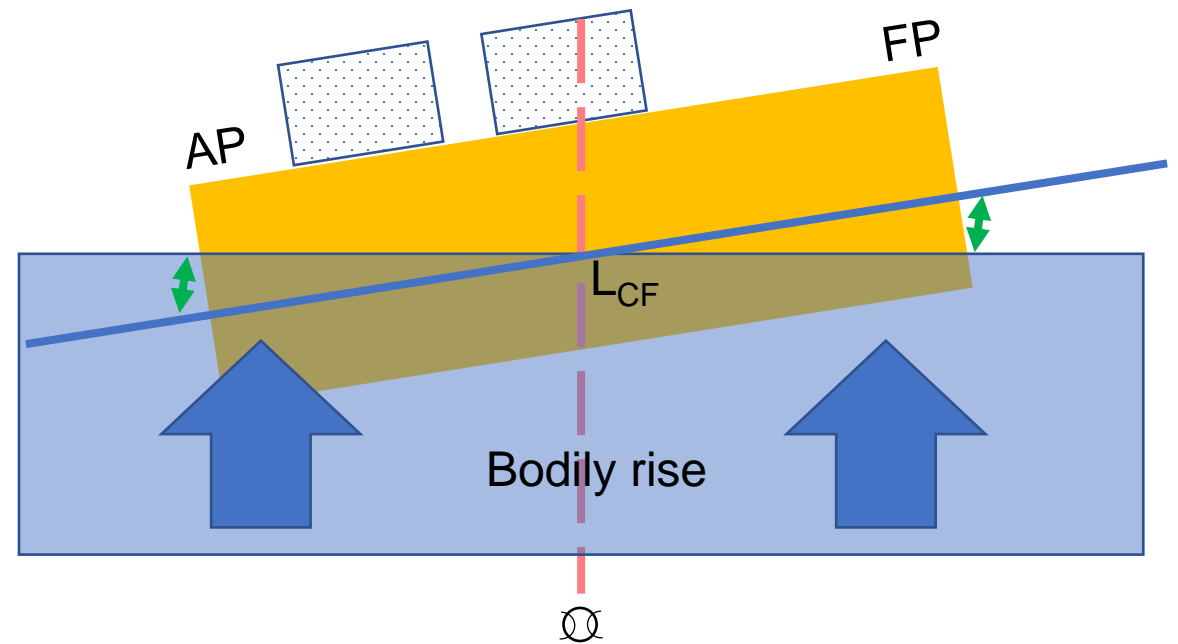
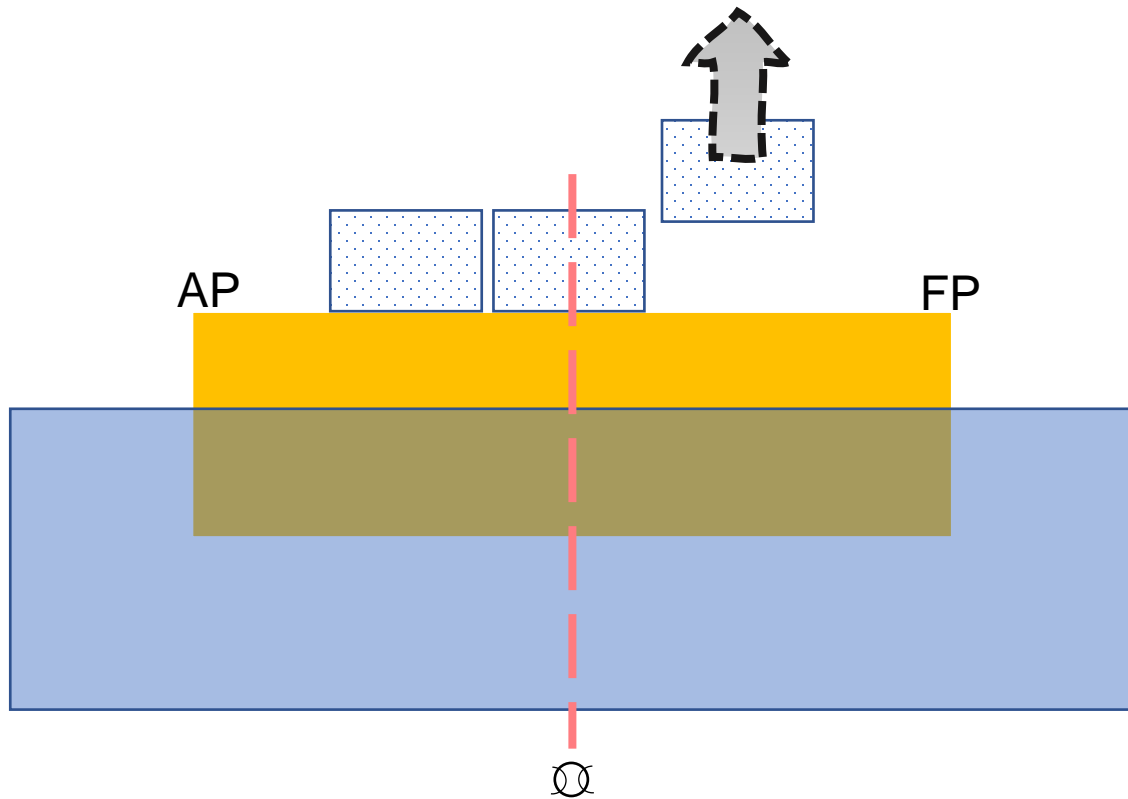
Change of trim yang terjadi adalah kemiringan *menuju* arah ditambahkannya muatan, baik itu di depan atau di belakang midship.



Kata kunci: Pengurangan muatan

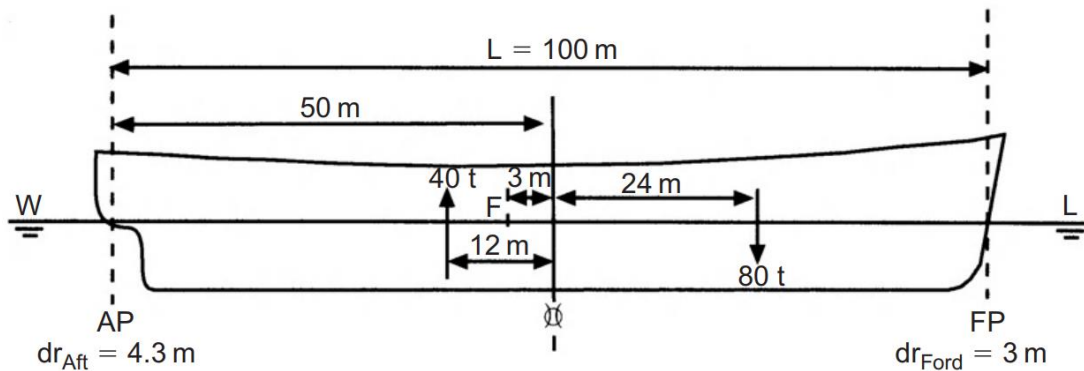
Bodily rise dan *change of trim*.

Trim kemiringannya dengan arah *menjauhi* diangkatnya muatan, baik itu di depan atau di belakang midship.



Contoh 3: Gabungan

Kapal dengan $L_{pp} = 100$ m merapat dengan draft 3m FP dan 4.3m AP. Kapal ini memiliki $TPC = 10$ tonnes, sedangkan $MTC = 120$ tonnes.m. LCF berada di 3 m menuju AP dari midship. Jika terdapat 80 tonnes muatan ditambahkan dengan jarak 24 m ke arah FP dari midship dan pembongkaran muatan 40 tonnes dengan jarak 12 m ke arah AP, tentukan draft baru di AP dan FP!



STEP 1: Menghitung bodily sinkage/rise

Cargo ditambahkan	= +80 tonnes
Cargo dikurangi	= -40 tonnes
Total (w)	= +40 tonnes (bodily sinkage)
Bodily sinkage:	

$$\begin{aligned} \text{Bodily sinkage} &= \frac{w}{TPC} \\ &= \frac{40}{10} = 4 \text{ cm} = 0.04 \text{ m} \end{aligned}$$

Contoh 3: Gabungan

STEP 2. Menghitung momen terhadap L_{CF} .

Item	Berat (tonnes) [(+) muat / (-) bongkar]	Lever (m) [(+) arah AP (-) arah FP]	Trimming moment thd. L_{CF} (tonnes.m) [(+) trim by stern / (-) trim by bow]
Cargo 1	+80	-27	-2160
Cargo 2	-40	+9	-360
		TOTAL	-2520

Contoh 3: Gabungan

STEP 3. Menghitung change of draft di AP dan FP

$$\begin{aligned} \text{Change of trim} &= \frac{\text{Trimming moment}}{MTC} \\ &= \frac{2520}{120} \end{aligned}$$

$$\text{Change of trim} = 21 \text{ cm ke arah bow}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of draft AP} &= \frac{L_{CF}}{L_{OA}} \times \text{change of trim} \\ &= \frac{47}{100} \times 21 \text{ cm} \\ &= 9.87 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Change of draft FP} &= \frac{L_{pp} - L_{CF}}{L_{OA}} \times \text{change of trim} \\ &= \frac{53}{100} \times 21 \text{ cm} \\ &= 11.13 \text{ cm} \end{aligned}$$

STEP 4: Menghitung draft baru di AP dan FP

Posisi	AP	FP
Original draft (m)	4.300	3.000
Bodily sinkage (m)	+0.040	+0.040
Change due to trim (m)	-0.099	+0.111
New draft (m)	4.241	3.151

Question?

TRIM(3):

**Menentukan jumlah dan jarak muatan untuk
memenuhi persyaratan draft tertentu**

TEORI BANGUNAN APUNG 2

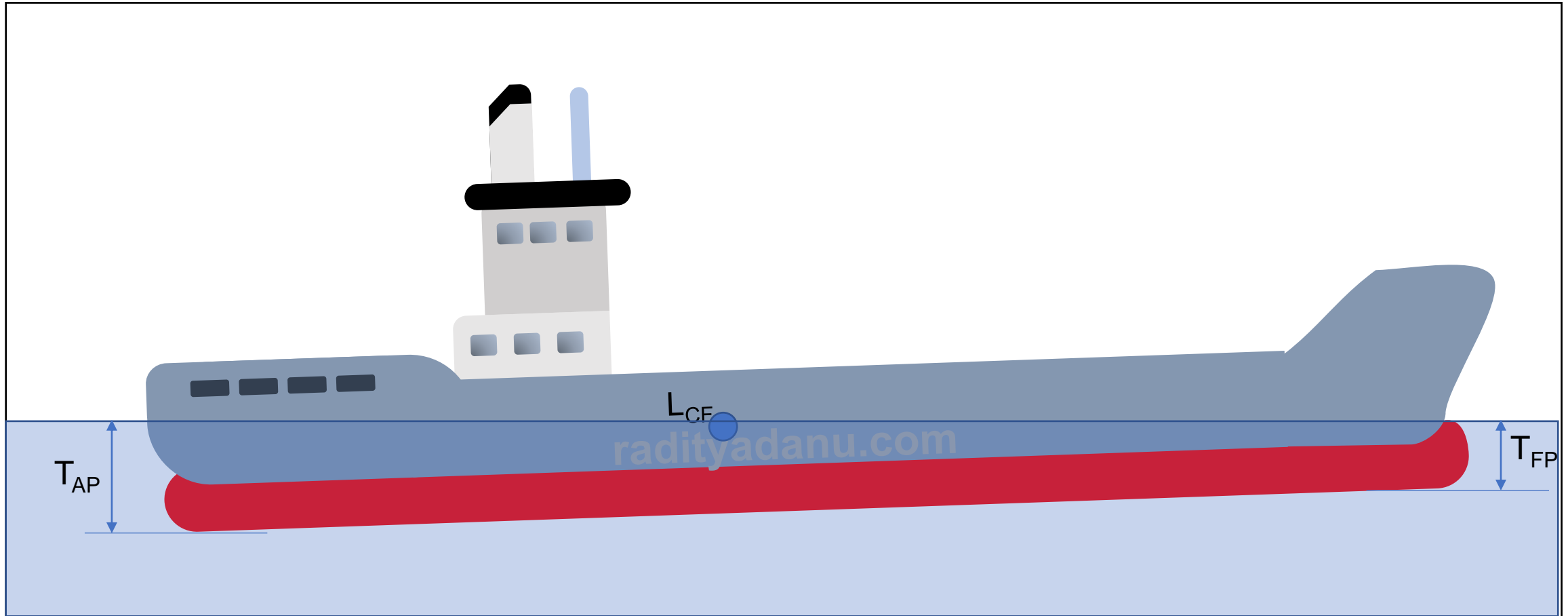
Raditya Danu Riyanto

2020

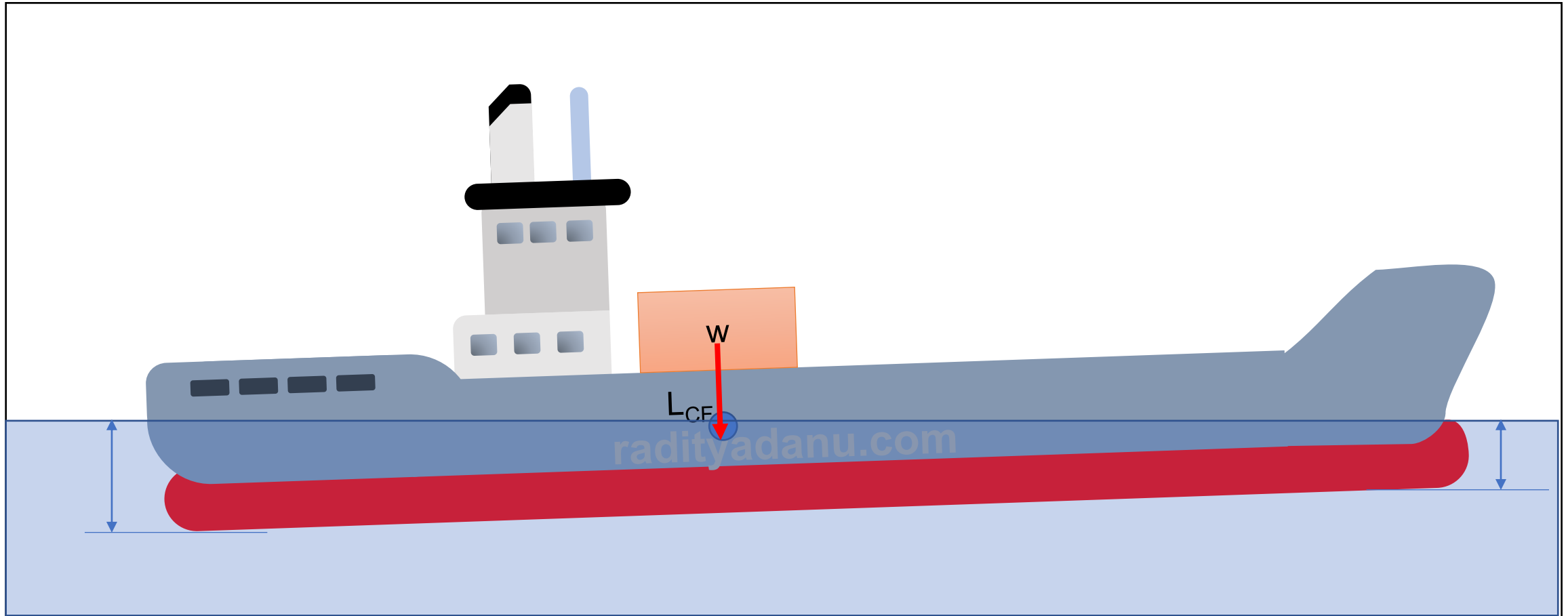
Lesson objectives

- Dapat menjaga draft di AP tetap konstan walaupun ada penambahan muatan

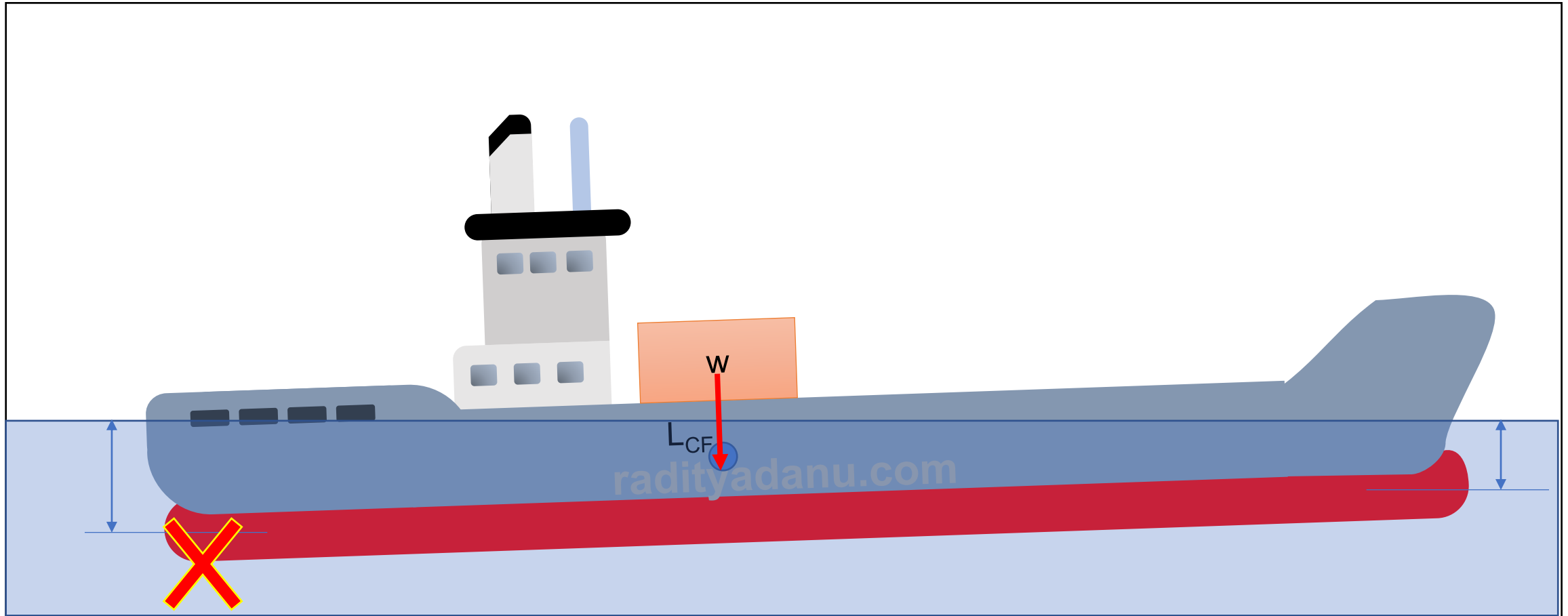
Pada umumnya kapal memiliki draft AP yang lebih tinggi daripada FP



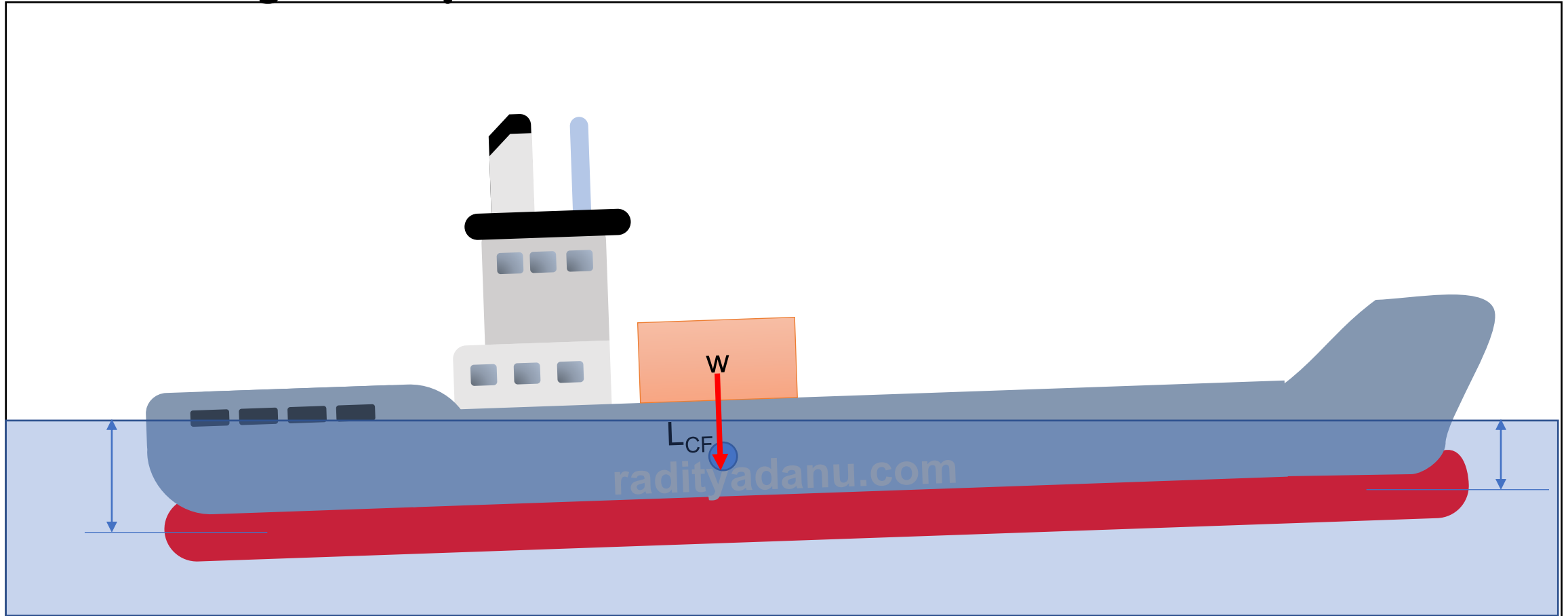
Ketika muatan diletakkan tepat di atas L_{CF} , draft akan bertambah secara uniform



Padahal, draft di AP harus dijaga agar konstan di nilai tertentu



Sehingga muatan harus dipindah ke depan LCF agar dapat mengembalikan trimnya seperti semula



**Berapa jarak yang
dibutuhkan?**

Jarak perpindahan agar draft terjaga:

$$d = \frac{L_{PP} \times MTC}{L_{CF} \times TPC}$$

Contoh:

Sebuah bangunan apung berbentuk box sederhana memiliki $L \times B \times H = 60 \times 10 \times 6$ m, mengapung di air laut dengan draft AP = 4.4 m dan FP = 4 m. Tentukan jarak yang harus diletakkan di atas LCF jika ada muatan 30 tonnes yang harus dimuat dan draft di AP harus tetap 4.4 m!

STEP 1: Menghitung TPC

TPC_{SW}	=	$\frac{WPA}{97.56}$
	=	$\frac{60 \times 10}{97.56}$
TPC_{SW}	=	6.15 tonnes

STEP 2: Menghitung Displacement (dengan T adalah T rata-rata = $\frac{T_{AP}+T_{FP}}{2}$)

Δ	=	$L \times B \times T \times \rho_{SW}$
	=	$60 \times 10 \times 4.2 \times 1.025$
Δ	=	2583 tonnes

STEP 3: Menghitung BML

BM_L	=	$\frac{L^2}{12T}$
	=	$\frac{60^2}{12 \times 4.2}$
BM_L	=	71.42 meters

STEP 4: Menghitung MTC

MTC	=	$\frac{\Delta \times BM_L}{100L}$
	=	$\frac{2583 \times 71.42}{100 \times 60}$
MTC	=	30.75 tonnes.m

STEP 5: Menghitung d

d	=	$\frac{L_{PP} \times MTC}{L_{CF} \times TPC}$
	=	$\frac{60 \times 30.75}{30 \times 6.15}$
d	=	10 m dari L_{CF}

Question?

TRIM(4):

Menentukan GML dari perubahan draft akibat trim

TEORI BANGUNAN APUNG 2

Raditya Danu Riyanto

2020

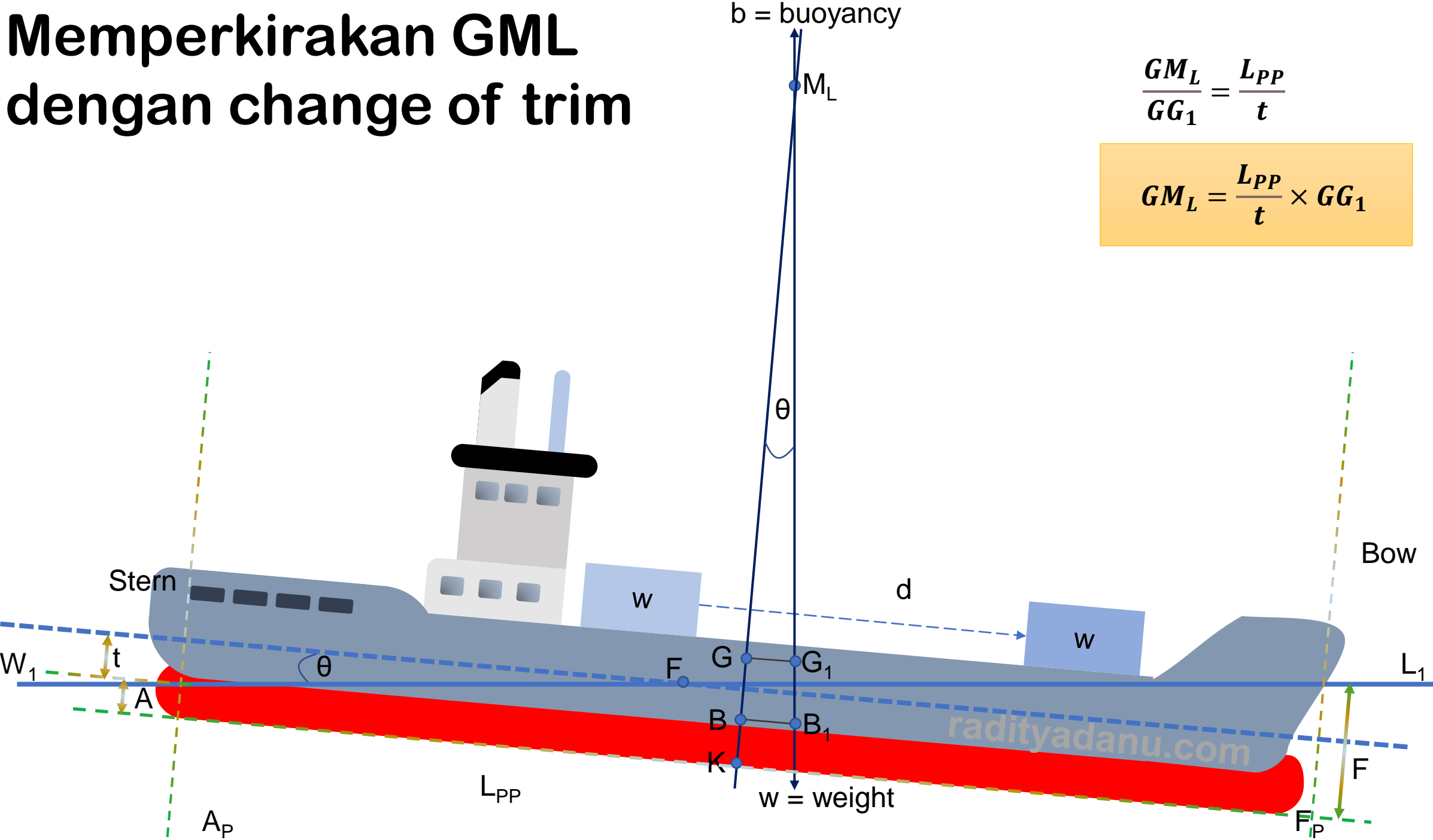
Lesson objectives

- Dapat mengetahui nilai GM_L dari perubahan draft akibat trim

Memperkirakan GML dengan change of trim

$$\frac{GM_L}{GG_1} = \frac{L_{PP}}{t}$$

$$GM_L = \frac{L_{PP}}{t} \times GG_1$$



Contoh

Kapal dengan $L_{pp} = 120$ m, dipindahkan muatannya dan menyebabkan perubahan titik G sebesar 0.2 m dan change of trim 0.15 m. Tentukan tinggi metacenter longitudinalnya!

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

Ans. $GM_L = 160$ meters.

TRIM + LIST

Bagaimana jika kedua kasus ini terjadi bersamaan?

TEORI BANGUNAN APUNG 2

Raditya Danu Riyanto

2020

TRIM + LIST

- Dalam banyak kasus kita menemukan kondisi dimana trim dan list terjadi bersamaan akibat perletakan muatan.
- Dalam perspektif Offshore Engineering, kejadian ini sering sekali terjadi pada Marine Operation.
- Dimana perletakan jacket tidak ideal (tidak tepat pada LCF dan centerline)
- Perlu dilakukan perhitungan trim dan list → ballast yang tepat
- Tujuan → upright dan even keel (atau trim by aft).

TRIM + LIST

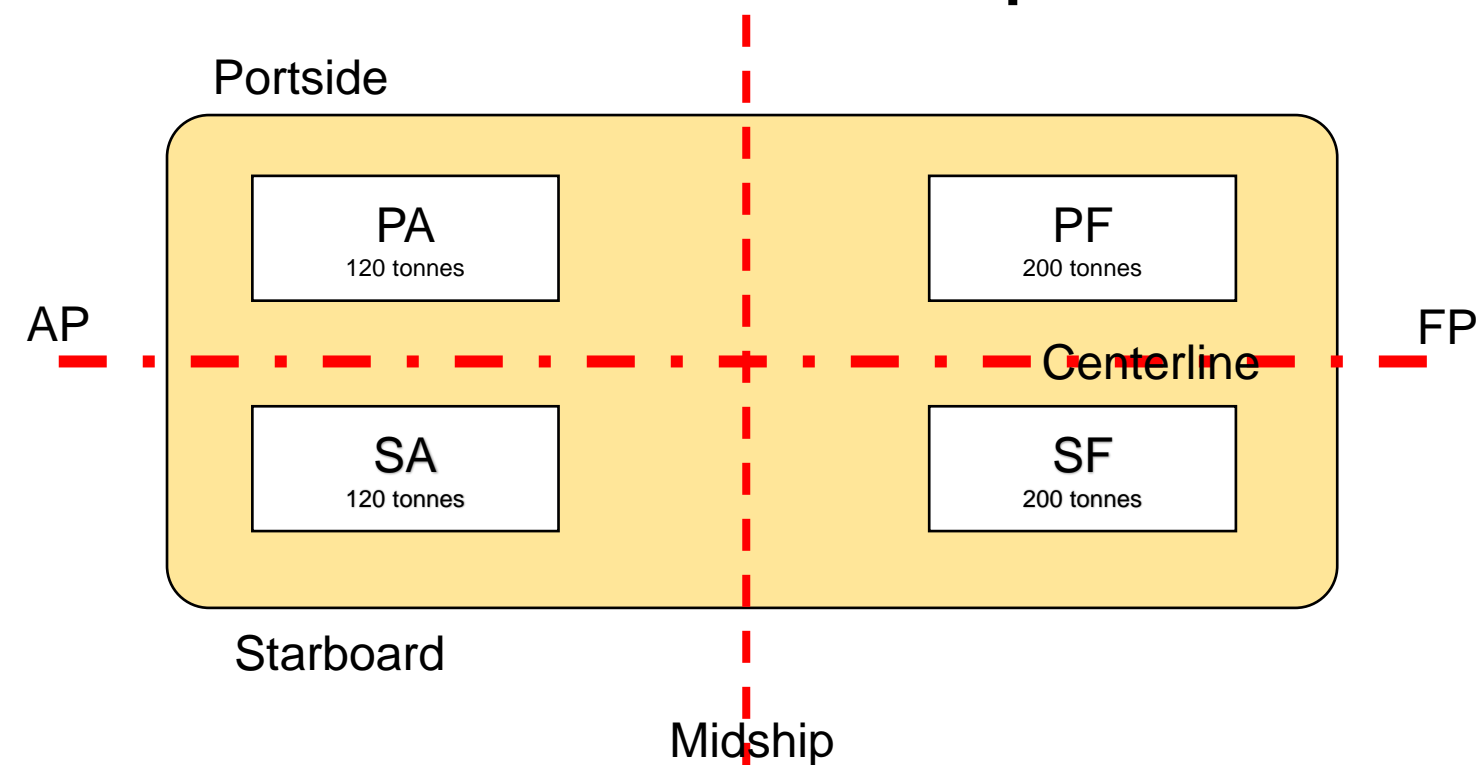


Trim + List: dijabarkan satu persatu lalu menghitung layaknya pada kuliah sebelumnya.

Umumnya trim yang dihitung terlebih dulu lalu dilanjutkan dengan perhitungan list.

CONTOH KASUS

Sebuah barge dengan displacement 4500 tonnes memiliki $KMT = 7 \text{ m}$, $KG = 6.4 \text{ M}$ dan $MTC = 120 \text{ tonnes.m}$, barge ini diberi muatan 1500 tonnes dan mengalami list 50 ke starboard dan trim 0.15 m menuju bow. Kondisi akhir yang harus dicapai sebelum barge ini berangkat dalam voyagena adalah kondisi upright (portside-starboard memiliki draft yang sama) dan trim 0.3 m by stern dengan memindahkan air ballast. Ballast tank terdiri dari 4 tanki seperti tertera di Gambar 2 berikut.



Keempat tank tersebut memiliki titik berat masing-masing adalah 5.25 m dari centerline. Tank di forward memiliki kapasitas masing-masing 200 tonnes air ballast dan tank di aft memiliki kapasitas 120 tonnes air ballast. Kondisi saat ini kedua tank di forward terisi penuh sedangkan tank di aft dibiarkan kosong. Secara melintang, titik berat tank di F adalah 23.5 m ke arah forward dan titik berat tank A adalah 21.5 m ke arah aft. Berapa berat air ballast yang harus ditransfer dari tanki di starboard ke tanki portside agar kapal berada di kondisi yang disyaratkan?

CONTOH KASUS

STEP 1: Gambar konfigurasi tanki dan ekstraksi semua informasi yang berguna.

Displacement total = 4500 + 1500 = 6000 tonnes

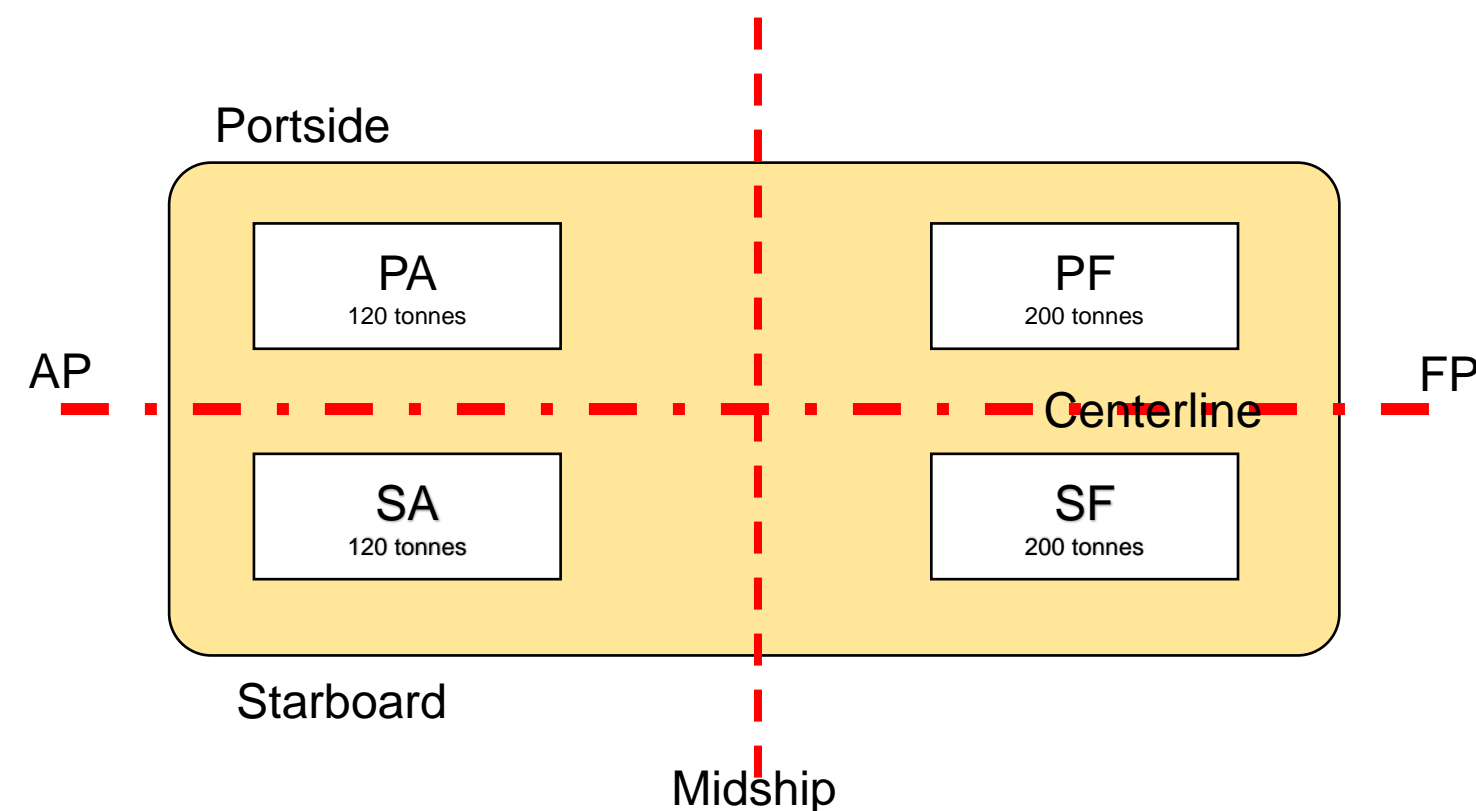
KM_T = 7 m

KG = 6.4 m

MTC = 120 tonnes.m

Trim = 0.15 m by bow

List = 5 degrees to stbd



CONTOH KASUS

- **STEP 2: Menghitung kondisi ideal trim**

Trim yang sekarang terjadi	= 0.15 m by bow
Trim yang disyaratkan	= 0.30 m by stern
Change of trim yang dibutuhkan	= 0.45 m by stern = 45 cm by stern

Maka untuk menghitung momen yang dibutuhkan untuk mengubah kondisinya adalah mengalikan change of trim yang dibutuhkan dengan MTC nya.

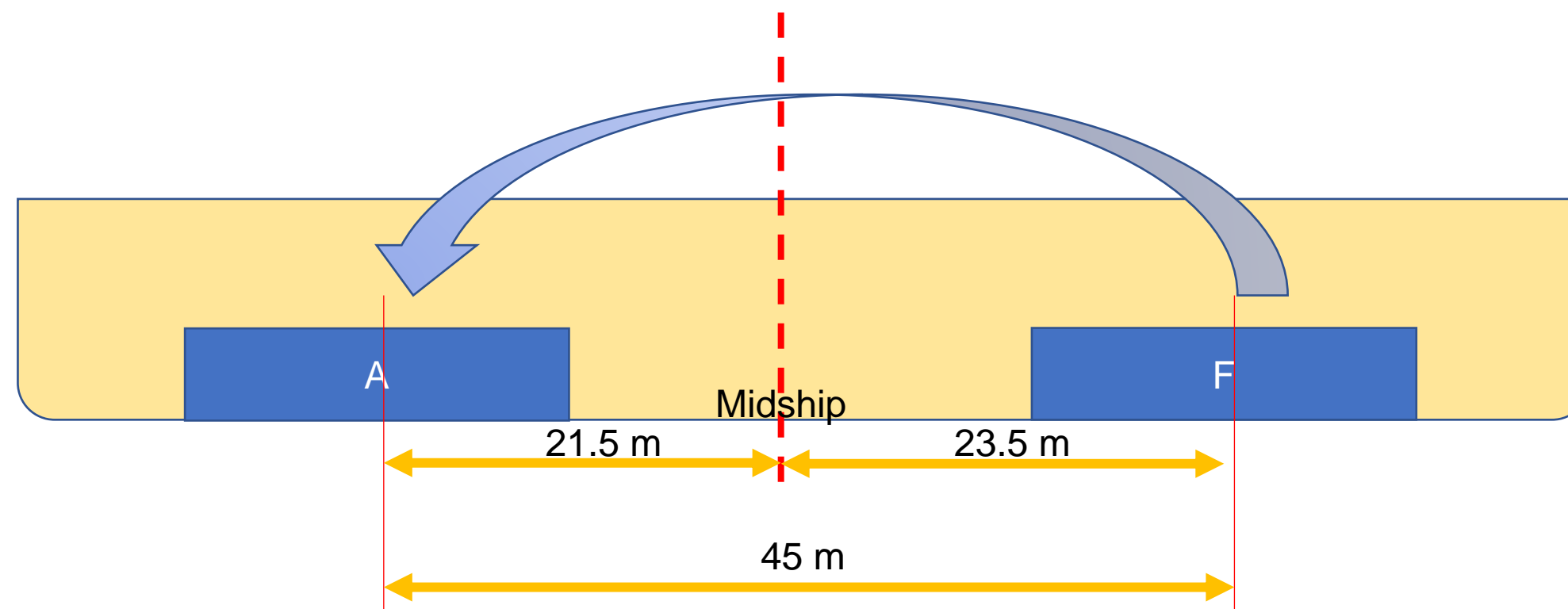
$$\text{Trim moment} = \text{change of trim} \times \text{MTC}$$

$$= 45 \times 120$$

$$\text{Trim moment} = 5400 \text{ tonnes.m by stern}$$

CONTOH KASUS

Selanjutnya adalah menentukan jarak antar titik berat melintang pada tanki yang akan di transfer.



Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa jarak yang harus dipindahkan adalah 45 m (jarak tanki A ke midship + jarak tanki F ke midship), maka:

$$\begin{aligned}\text{Trim moment} &= w \times d \\ &= w \times 45\end{aligned}$$

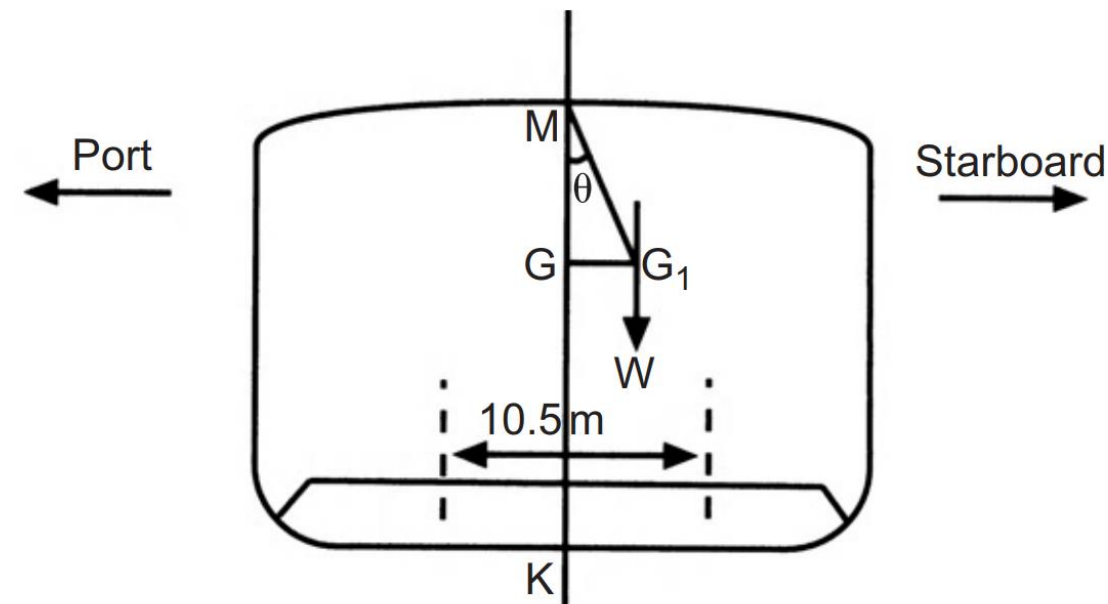
$$\text{Trim moment} = 45w$$

$$5400 = 45w$$

$$w = 120 \text{ tonnes to stern (from F to A tank)}$$

CONTOH KASUS

STEP 3: Menghitung kondisi ideal list (posisi upright)



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

$$KG = 6.4 \text{ m}$$

$$GM_T = KM_T - KG = 7 - 6.4 = 0.6 \text{ m}$$

Diketahui bahwa sudut list = 5° ke arah starboard, maka:

$$GG_1 = GM \times \tan \theta$$

$$= 0.6 \times \tan(5^\circ)$$

$$GG_1 = 0.0525 \text{ m}$$

CONTOH KASUS

$$\begin{aligned}\text{Moment to portside} &= \Delta \times GG_1 \\ &= 6000 \times 0.0525\end{aligned}$$

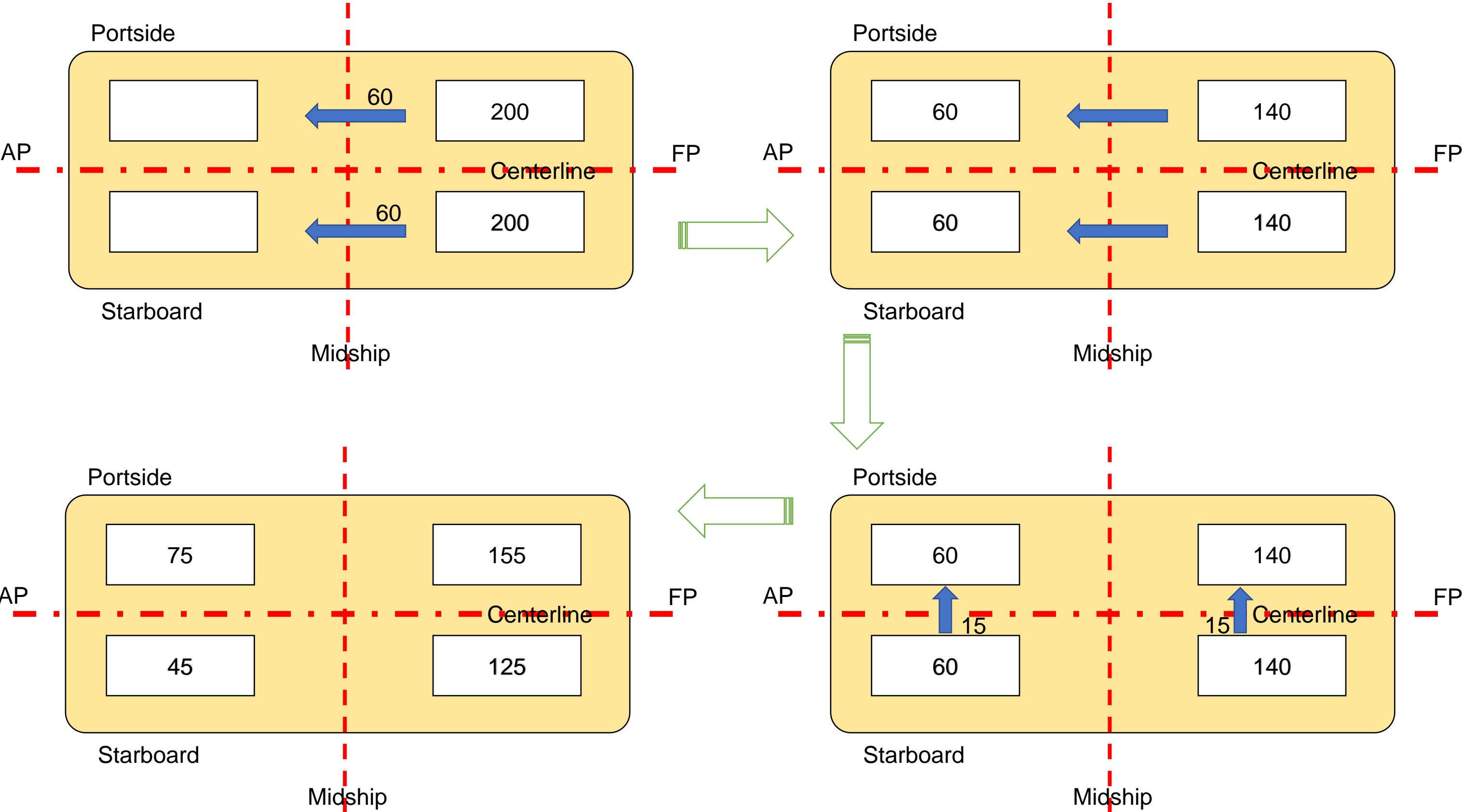
$$\text{Moment to portside} = 315 \text{ tonnes.m ke arah port}$$

$$\text{Moment to portside} = 10.5 \times w_p$$

$$315 = 10.5w_p$$

$$w_p = 30 \text{ tonnes to portside}$$

CONTOH KASUS



Question?

Stability Curve

TEORI BANGUNAN APUNG 2

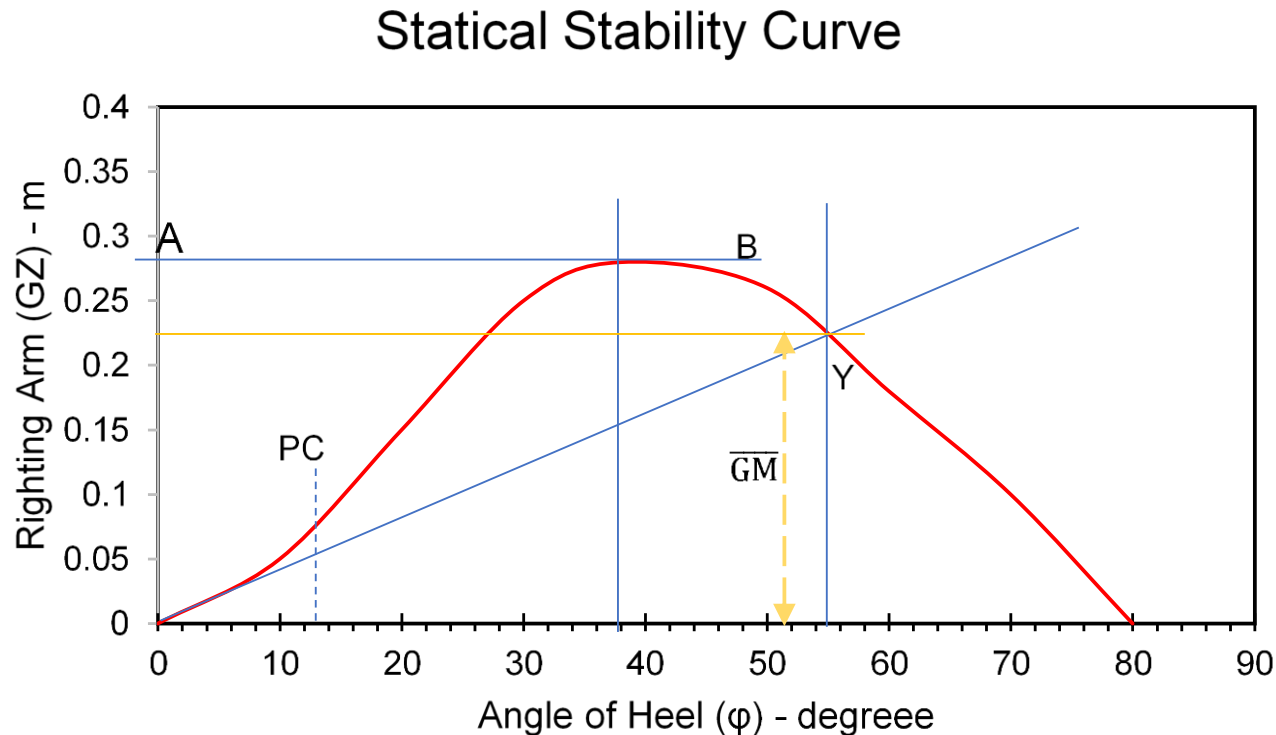
Raditya Danu Riyanto

Departemen Teknik Kelautan

FTK ITS

2020

Static Stability Curve

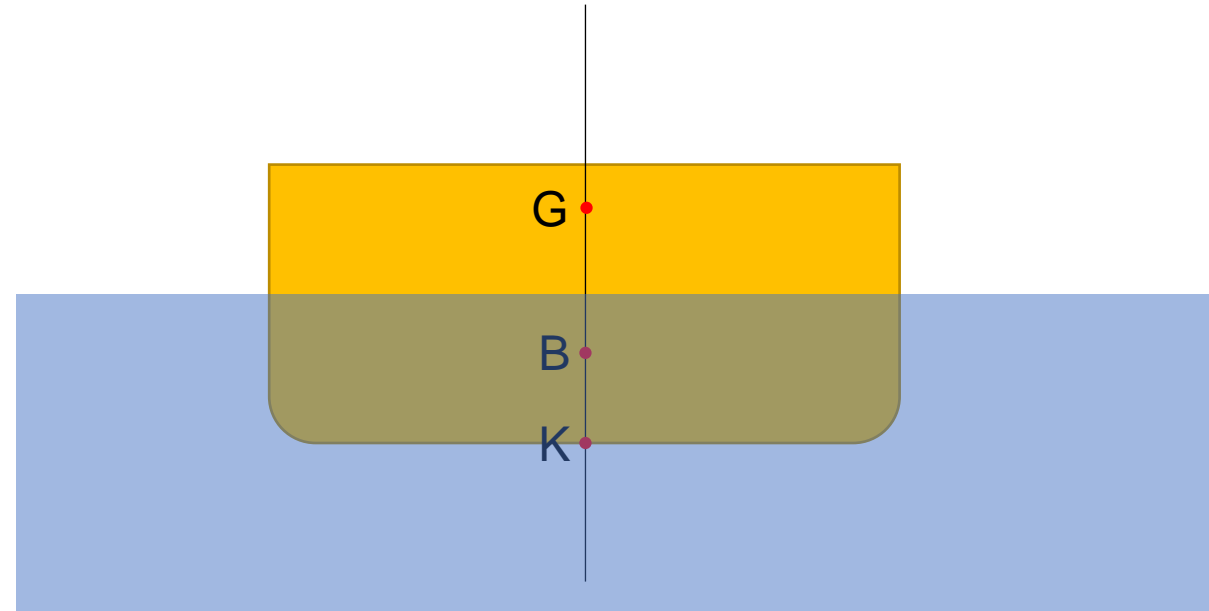
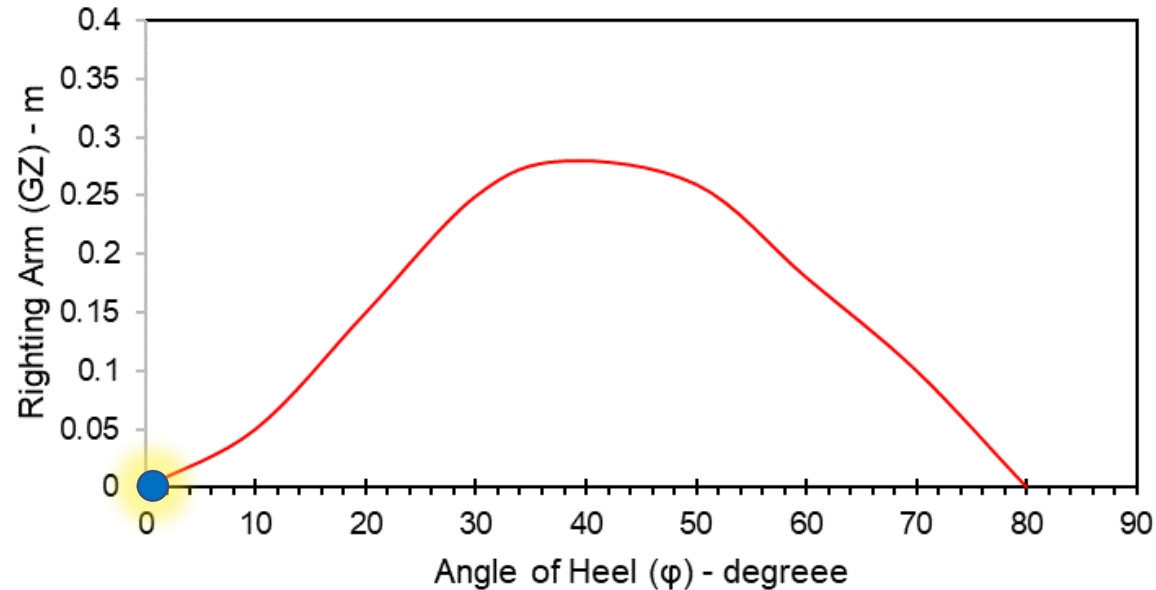


1. PC = Point of Contraflexure.
2. Range of stability.
3. Angle of vanishing stability..
4. GZ maksimum adalah puncak dari grafik
5. Initial GM dapat dihitung dengan menarik garis tangen antara kurva stabilitas statis di titik Y pada sudut heel 57.3 derajat.

What happened throughout the curve?

Initial Stability

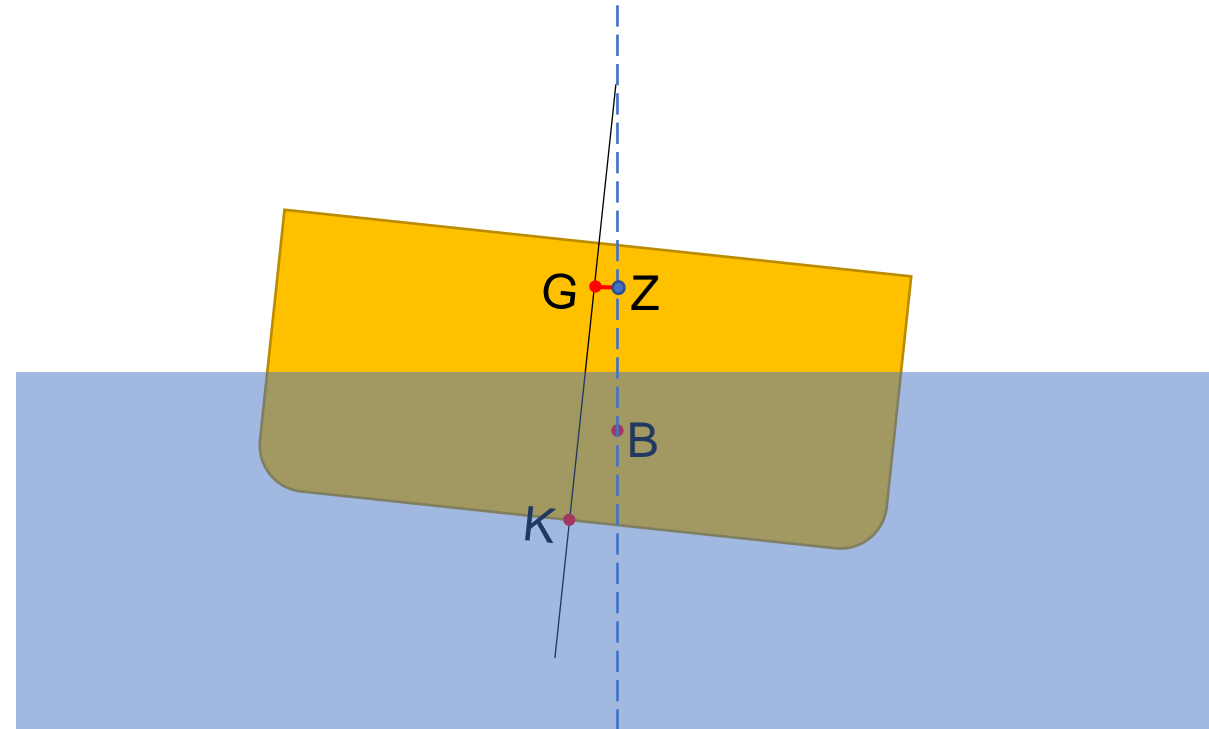
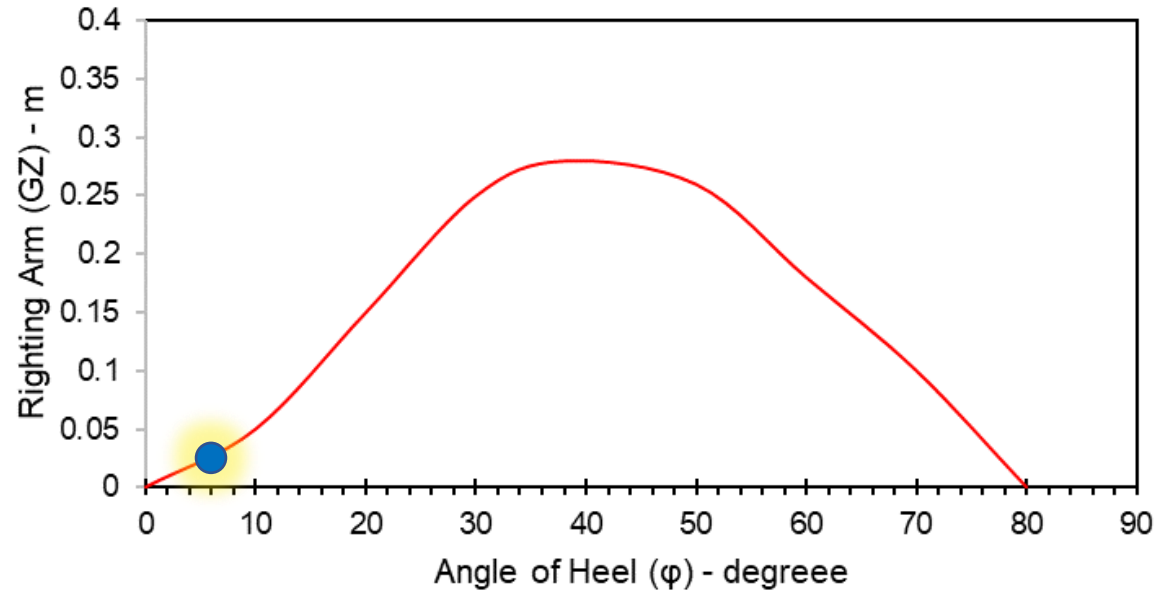
Statical Stability Curve



What happened throughout the curve?

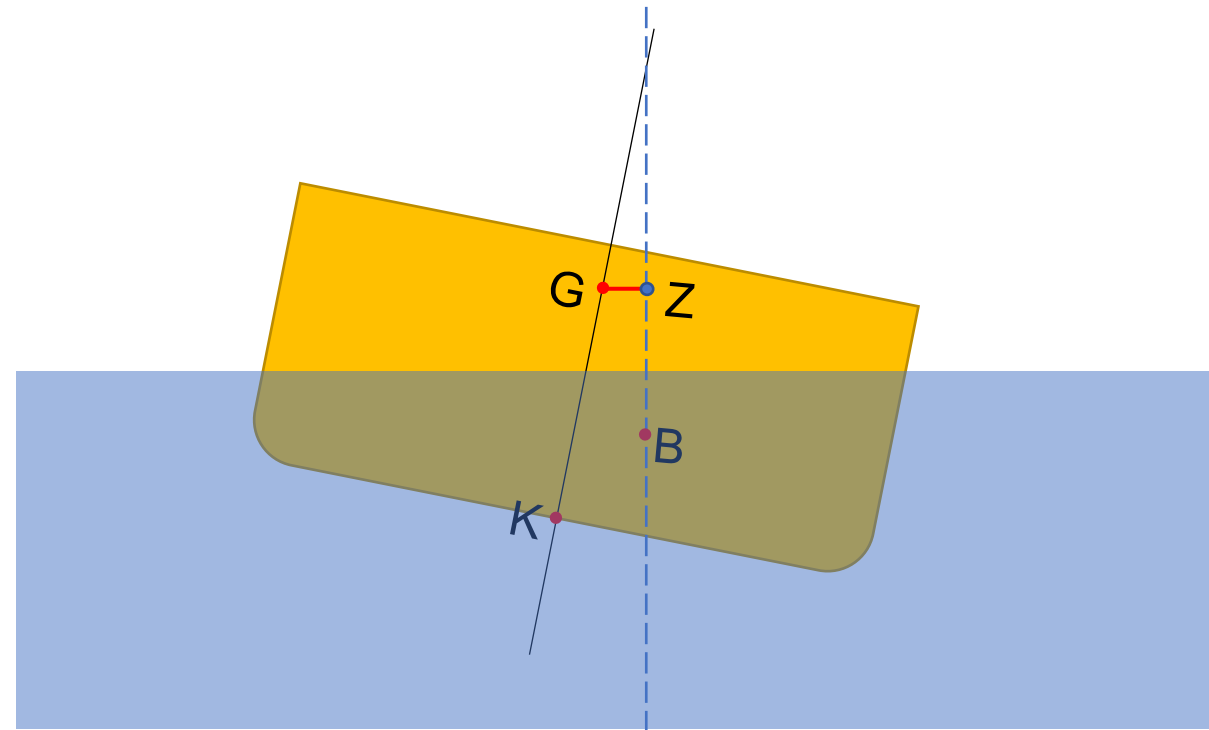
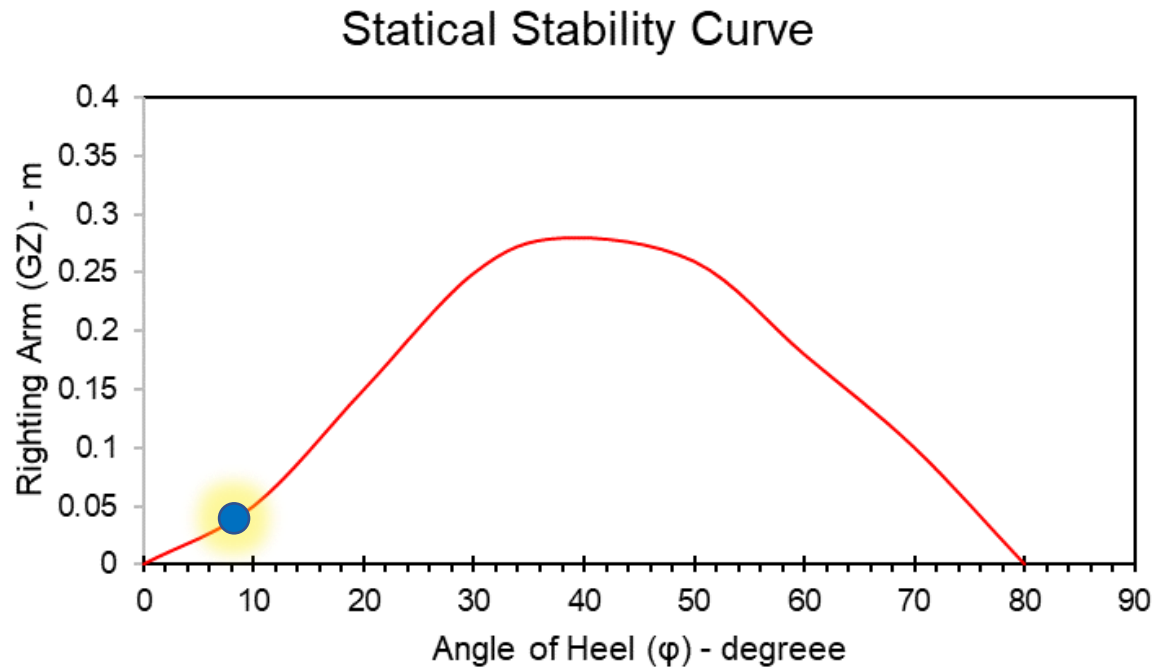
Small Angle of Heel

Statical Stability Curve



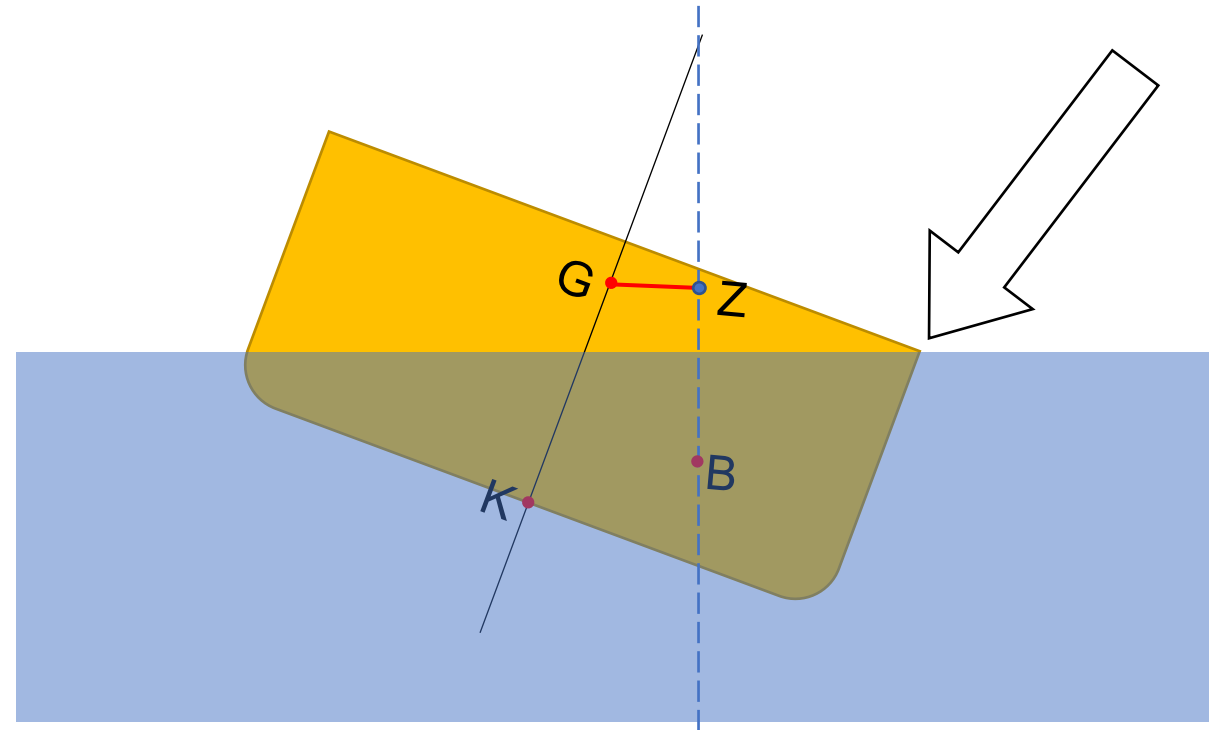
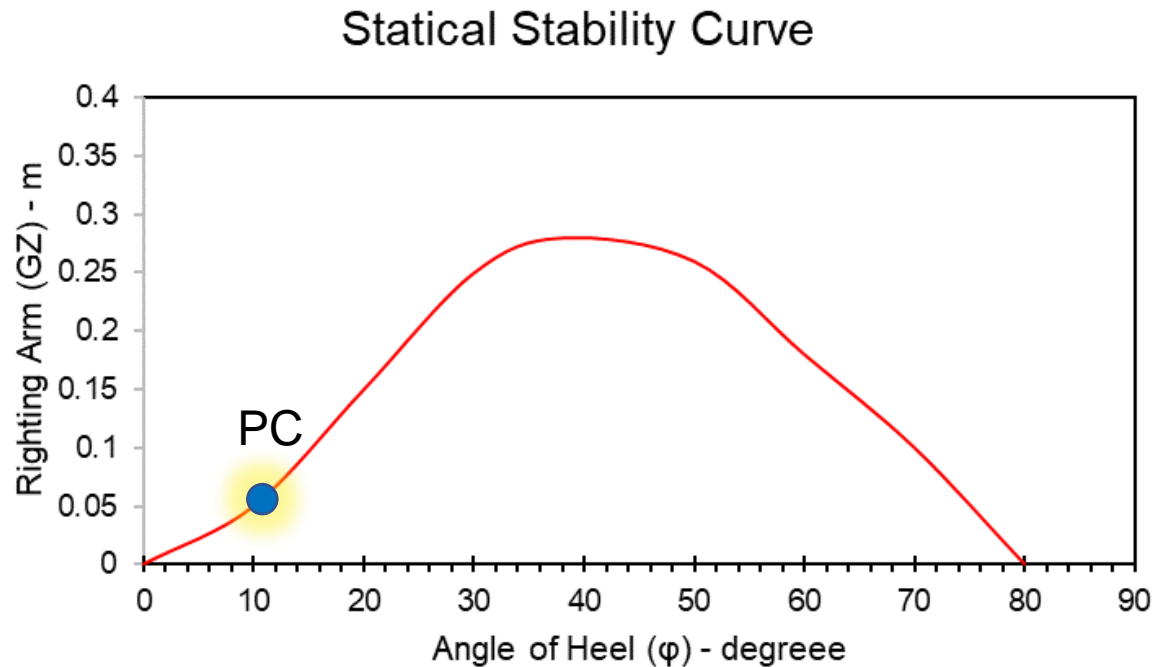
What happened throughout the curve?

More heeling...



What happened throughout the curve?

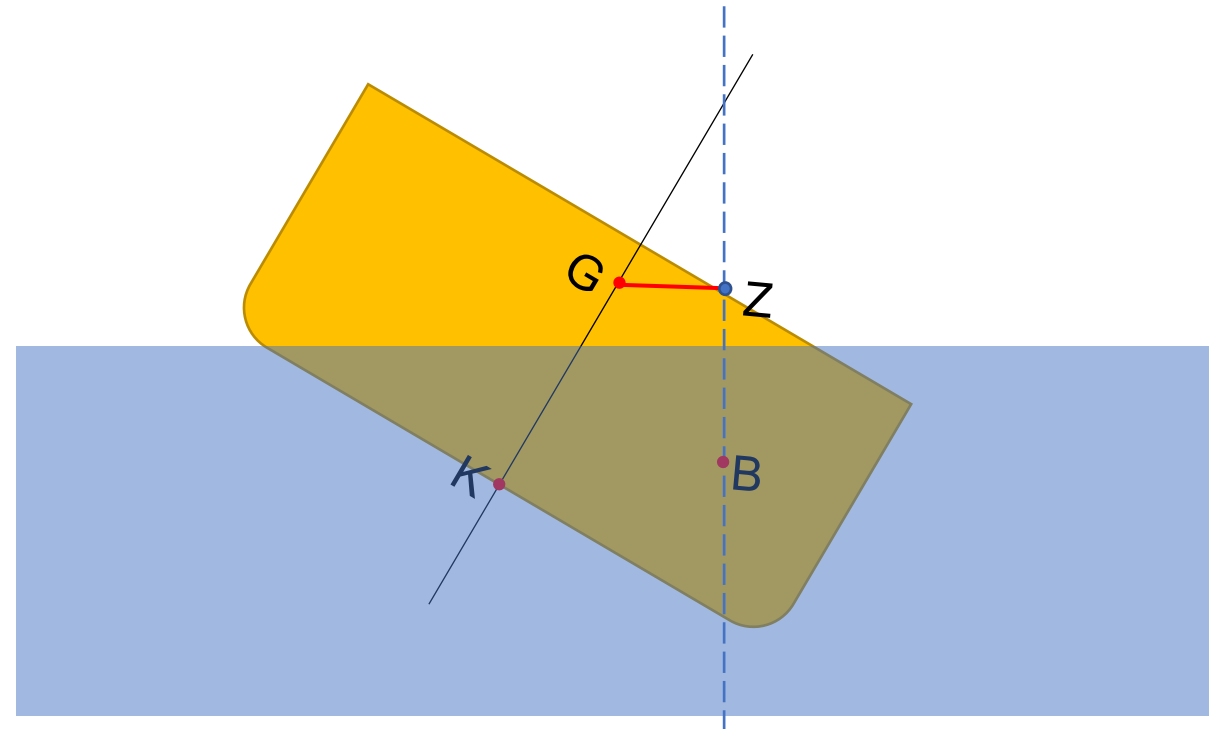
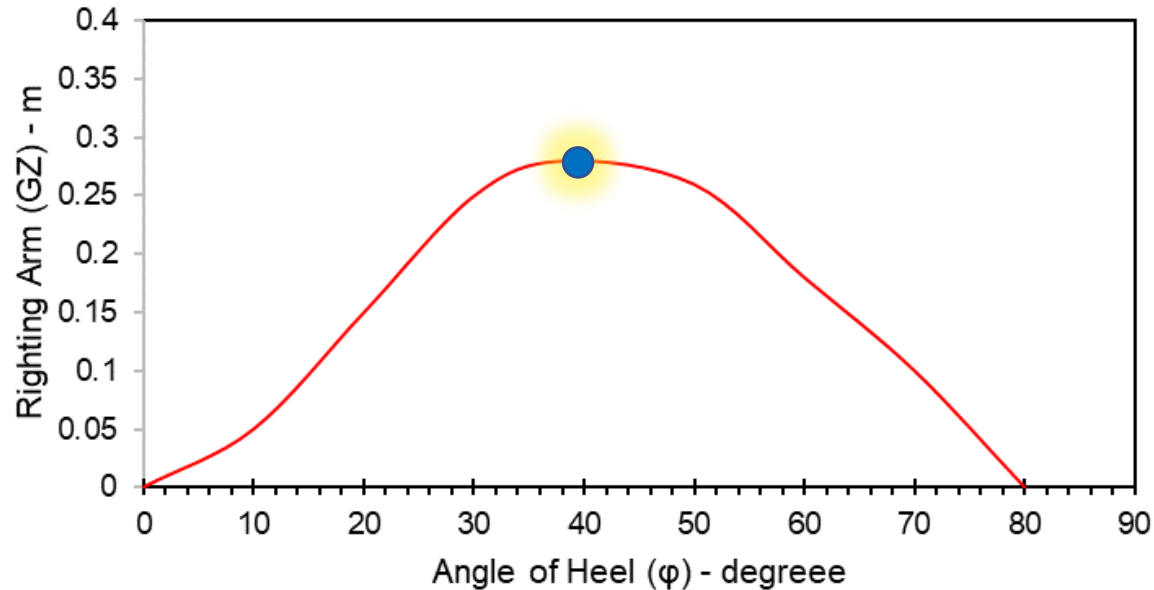
Point of Contraflexure



What happened throughout the curve?

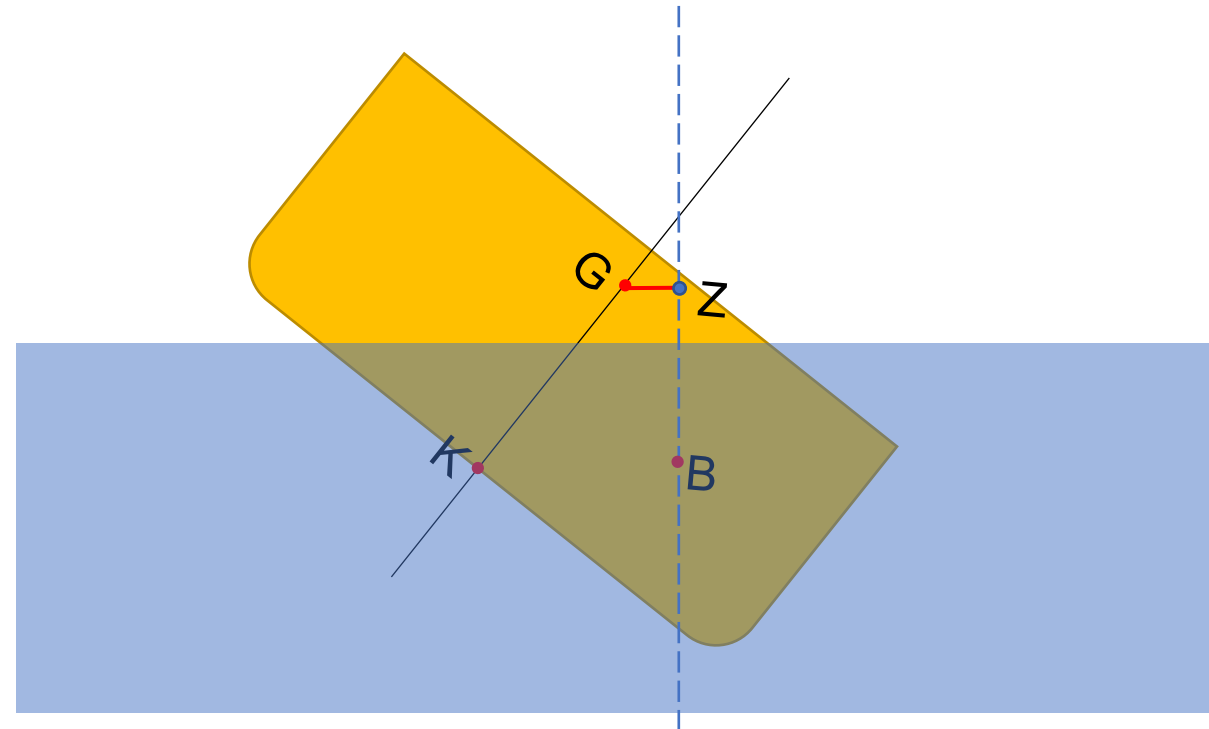
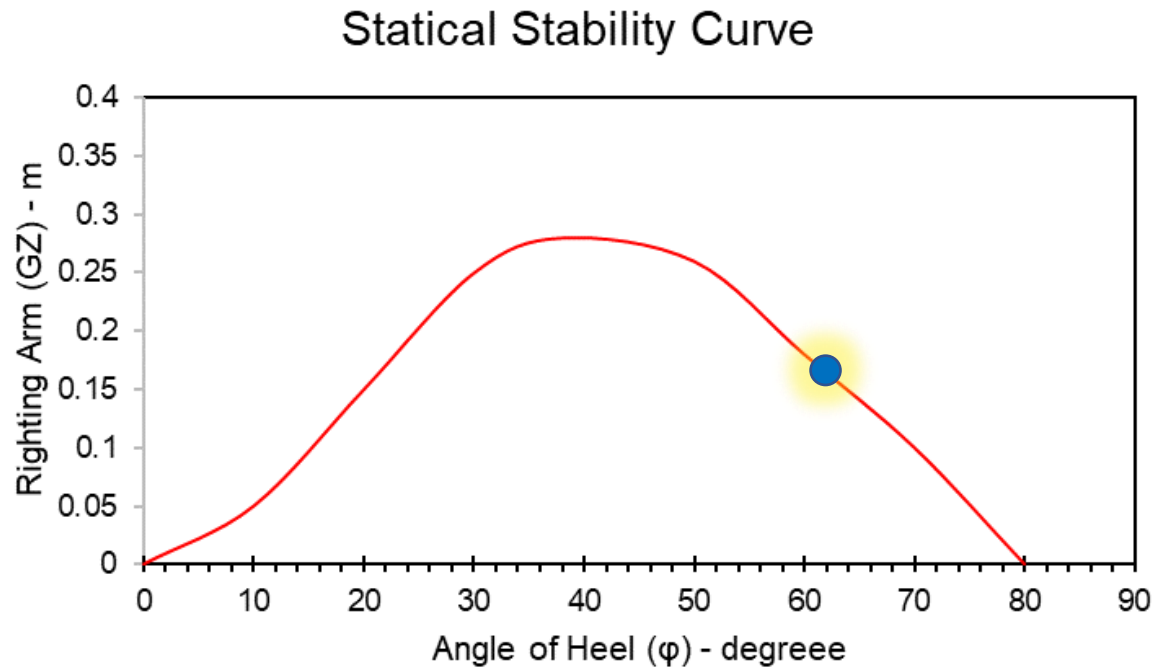
Max GZ

Statical Stability Curve



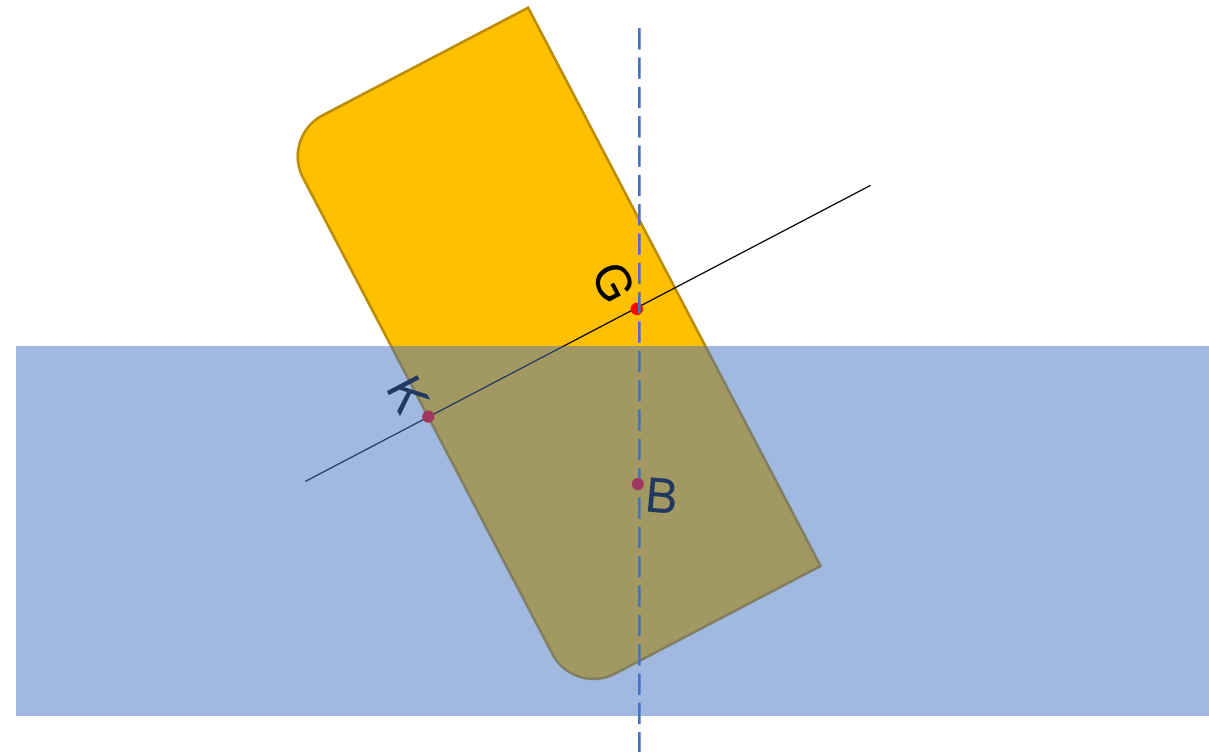
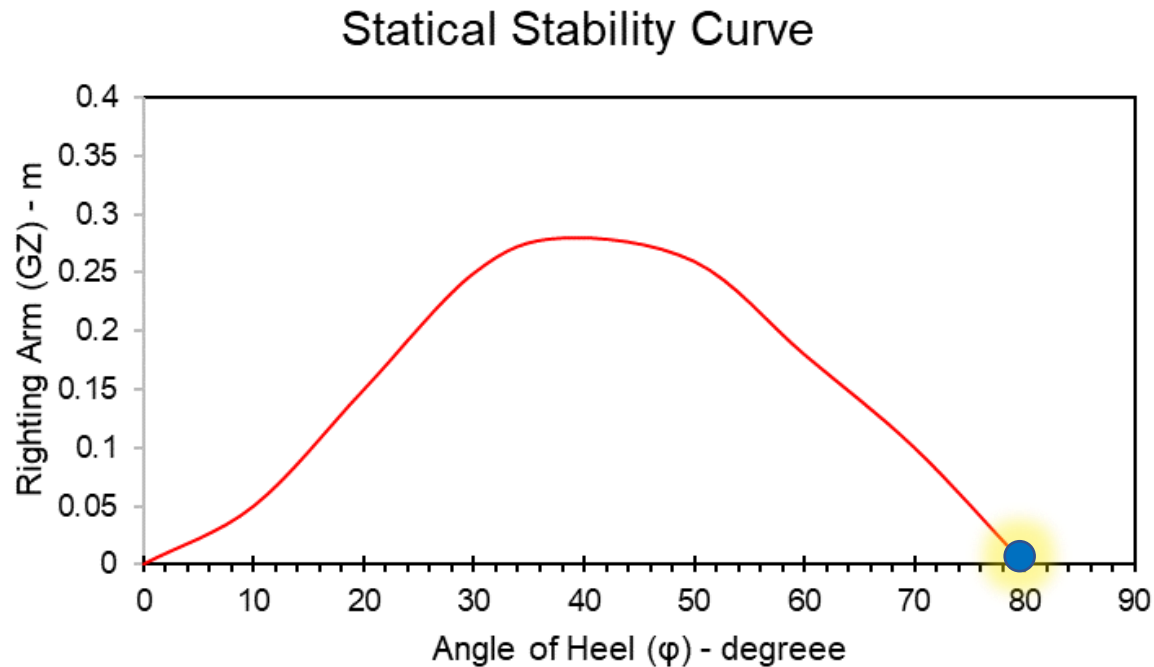
What happened throughout the curve?

GZ Starts to cease...



What happened throughout the curve?

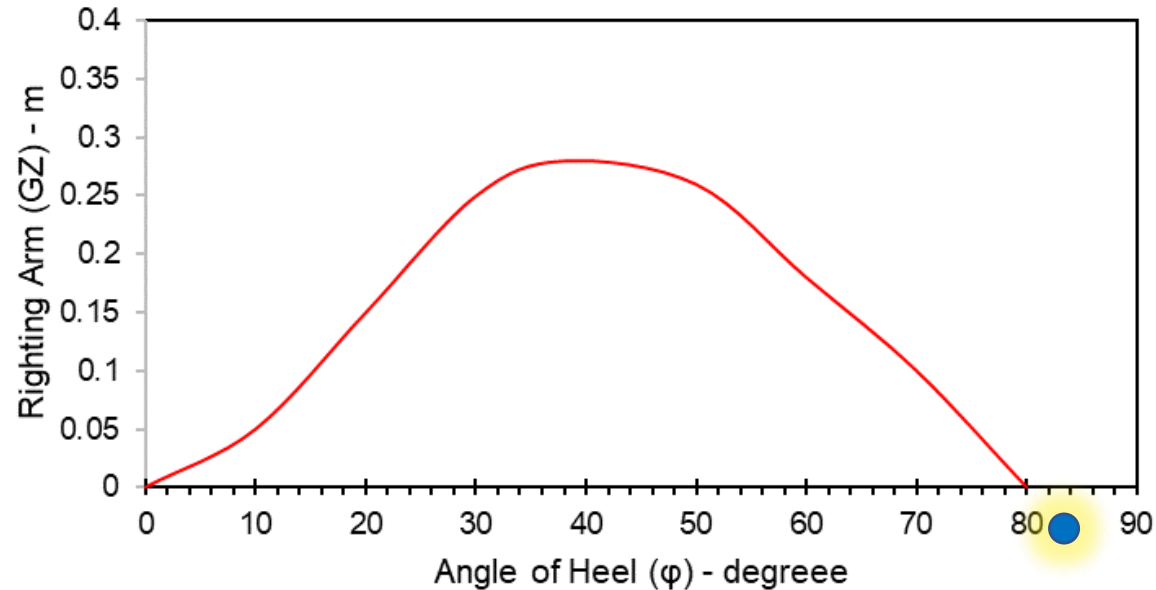
Maximum range of stability



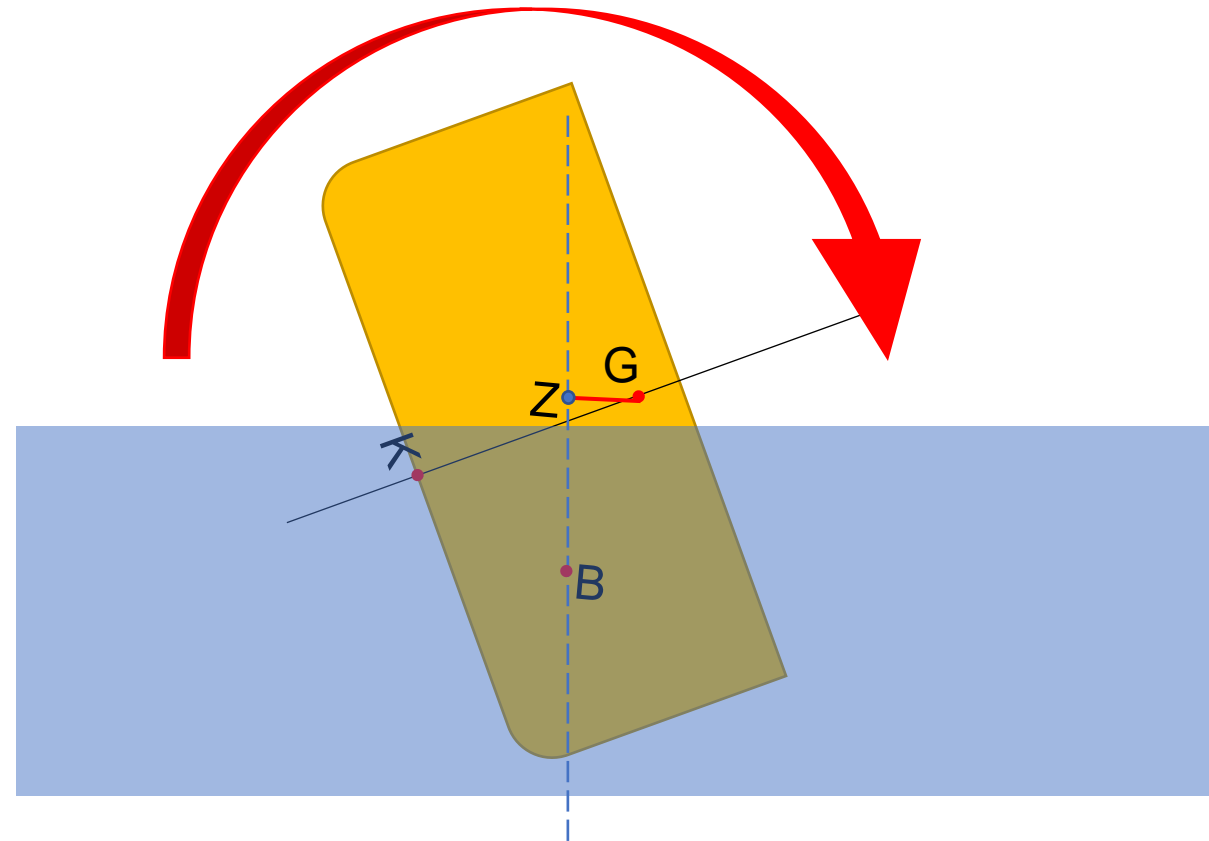
What happened throughout the curve?

Capsizing...

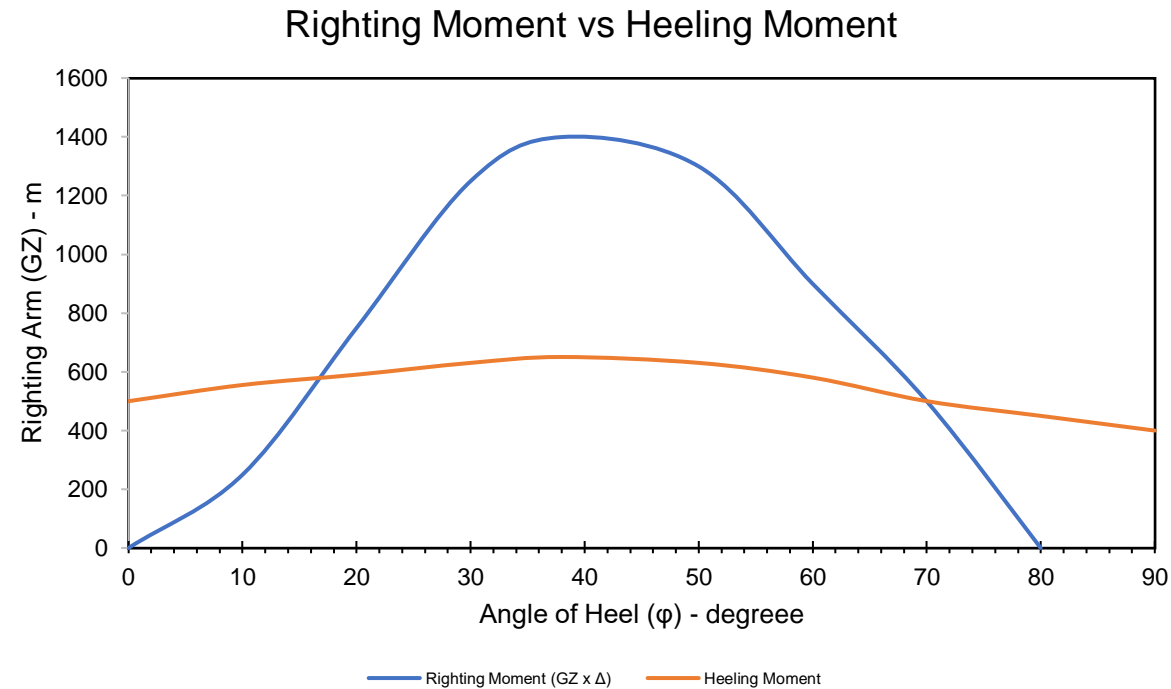
Statical Stability Curve



Negative GZ!
Capsizing Moment!

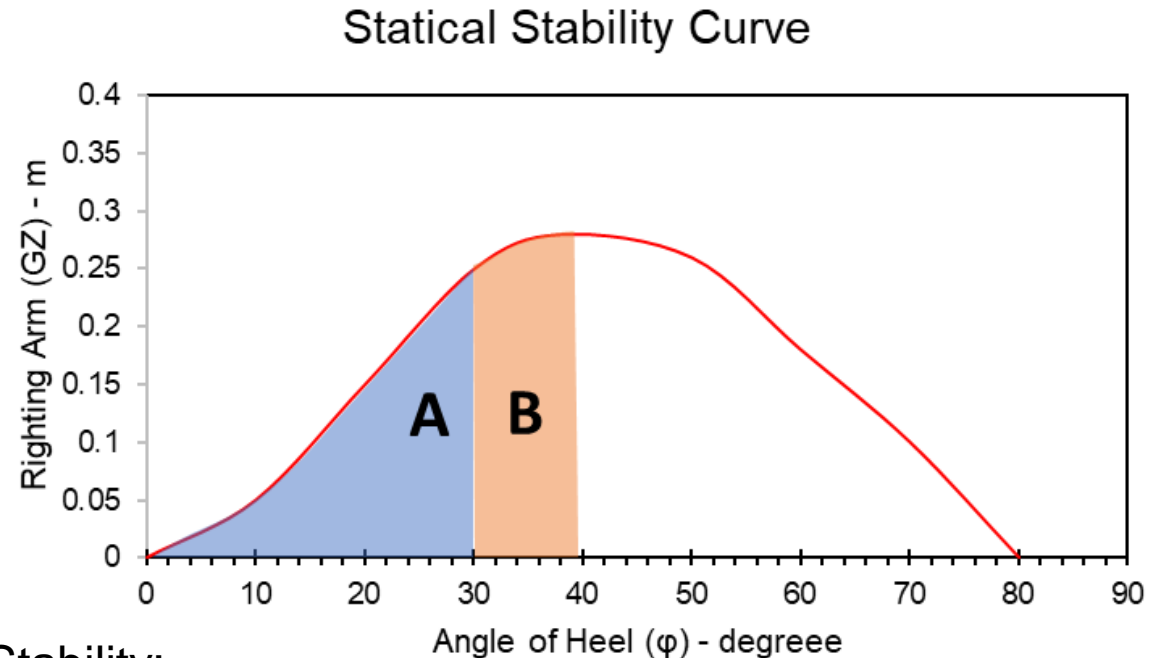


Static Stability Curve vs Heeling Moment



By superimposing various heeling moments caused by these forces on a curve of righting moment, statical stability of the ship in any operating (loading) condition can be evaluated.

IMO Criteria for Stability Curve



IMO Regulations for Intact Stability:

1. Area A ≥ 0.055 m.rad
2. Area A+B ≥ 0.09 m.rad
3. Area B ≥ 0.030 m.rad
4. $GZ \geq 0.20$ m at an angle of heel equal to or greater than 30 degree
5. Gz_{max} should occur at an angle of heel equal to or greater than 25 degree
6. The initial metacentric height GM should not be less than 0.15 m

Question?

HYDROSTATIC & BONJEAN CURVE

RADITYA DANU RIYANTO

PERANCANGAN DASAR STRUKTUR TERAPUNG

2020

KURVA HIDROSTATIK & BONJEAN

- Data hidrostatis dari bangunan apung pada umumnya disajikan dalam bentuk kurva
 - Hydrostatic curve → sifat-sifat bangunan apung dalam fungsi WL
 - Bonjean curve → kurva volume dalam fungsi WL

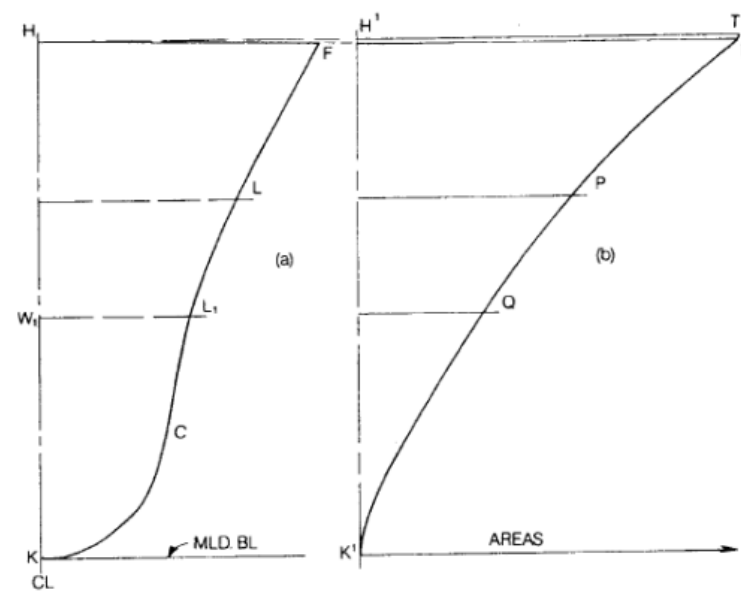
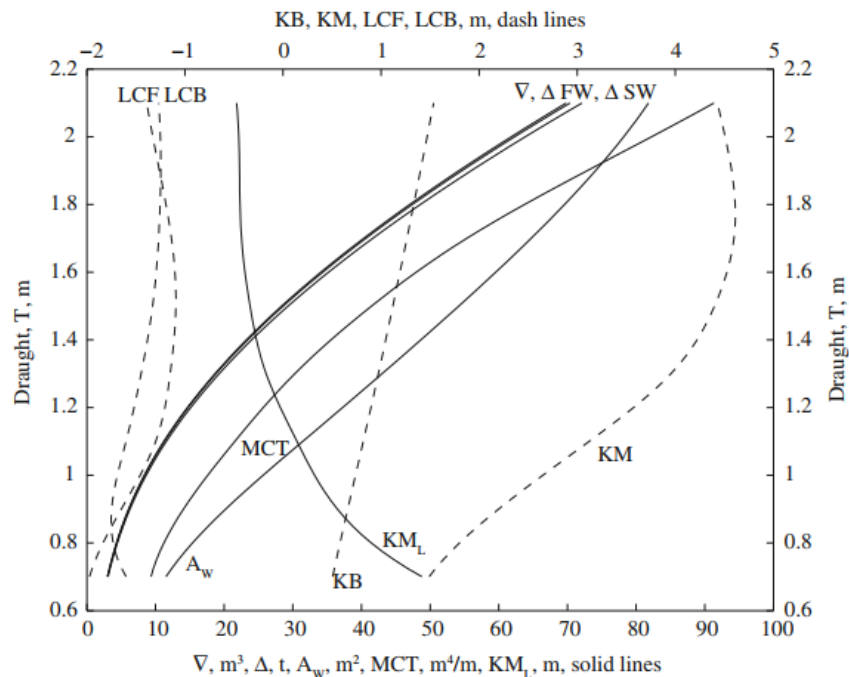


Fig. 32 Body plan section (a) and Bonjean Curve (b)

KURVA HIDROSTATIK

Area Properties

1. WPA (Waterplane Area)
2. LCF (Long. Center of Floatation)
3. MSA (Midship Section Area)
4. WSA (Wetted Surface Area)

Volume Properties

1. Displacement
2. Volume Displacement
3. KB (Keel to Centre of Buoyancy)
4. LCB (Longitudinal Centre of Buoyancy)
5. LKM (Keel to Longitudinal Metacenter distance)
6. LBM (Longitudinal Metacenter Radius)
7. TKM (Keel to Transversal Metacenter distance)
8. TBM (Transversal Metacenter Radius)

Coefficient Properties

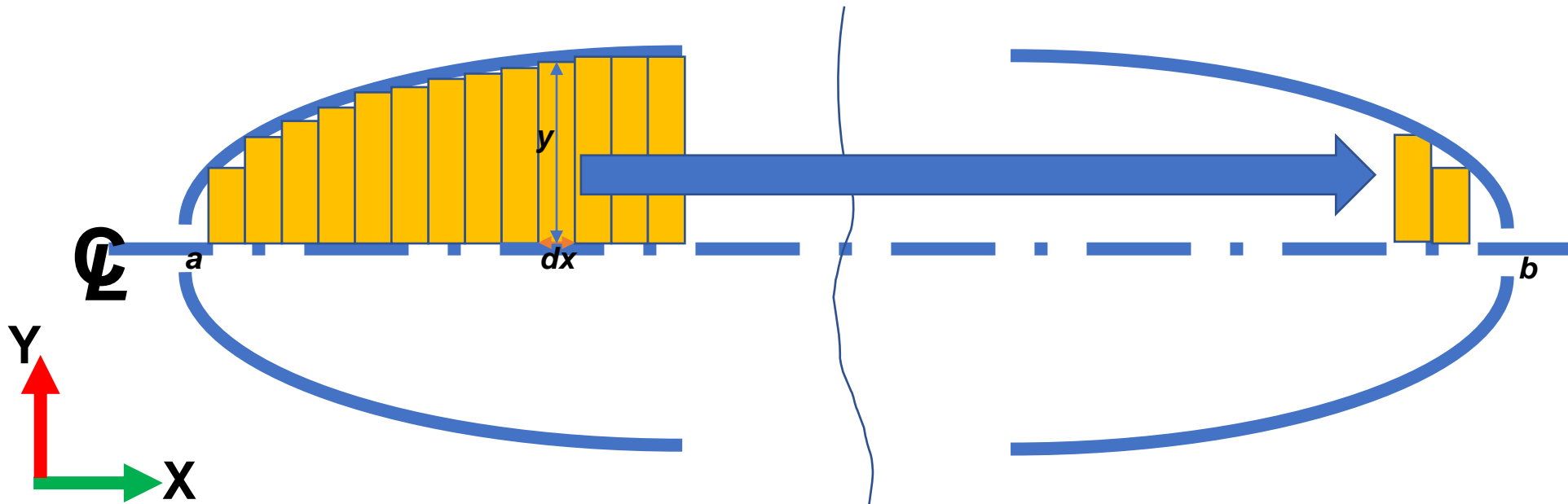
1. C_b
2. C_p
3. C_w
4. C_m

Derived Values

1. TPC
2. MTC
3. DDT

Waterplane Area and LCF

$$A_W = 2 \int_a^b y dx \approx 2 \left(\sum_{i=n_1}^{n_n} \alpha_i y_i \right) \delta L \quad M_x = 2 \int_a^b x y dx \approx 2 \left(\sum_{i=n_1}^{n_n} \alpha_i x_i y_i \right) \delta L = 2 \left(\sum_{i=n_1}^{n_n} \alpha_i j_i y_i \right) \delta L^2$$



$$x_F = \frac{M_x}{A_W} = \frac{2 \left(\sum \alpha_i j_i y_i \right) \delta L^2}{2 \left(\sum \alpha_i y_i \right) \delta L} = \frac{\left(\sum \alpha_i j_i y_i \right) \delta L}{\left(\sum \alpha_i y_i \right)}$$

Example

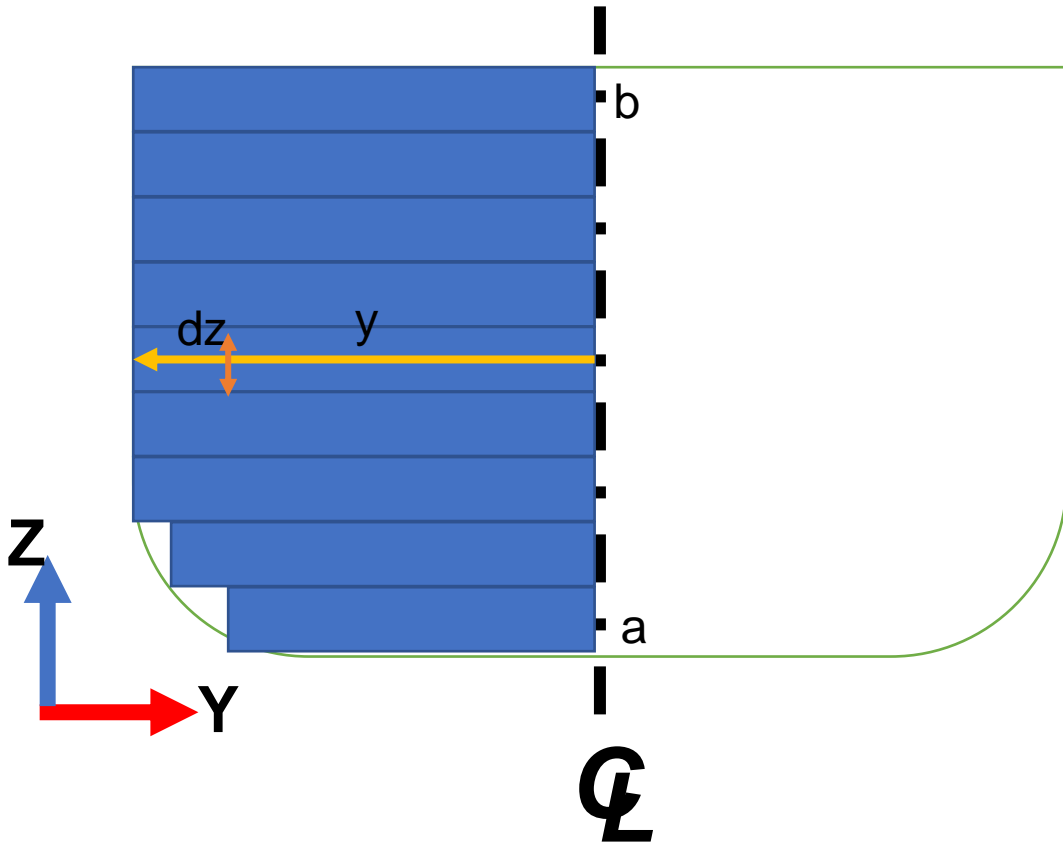
Station No.	Trapezoidal Multiplier	Half-Breadth m	Levers	Functions of Area	Functions of Moments	Functions of I_x	Cubes of Half-Breadth	Functions of I_T
	α_i	y_i	j_i	$\alpha_i y_i$	$\alpha_i j_i y_i$	$\alpha_i j_i^2 y_i$	y_i^3	$\alpha_i y_i^3$
1	2	3	4	5 = 2 × 3	6 = 5 × 4	7 = 6 × 4	8 = 3 ³	9 = 2 × 8
0	1/2	0.000	-5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	1	0.900	-4	0.900	-3.600	14.400	0.729	0.729
2	1	1.189	-3	1.189	-3.567	10.701	1.681	1.681
3	1	1.325	-2	1.325	-2.650	5.300	2.326	2.326
4	1	1.377	-1	1.377	-1.377	1.377	2.611	2.611
5	1	1.335	0	1.335	0.000	0.000	2.379	2.379
6	1	1.219	1	1.219	1.219	1.219	1.811	1.811
7	1	1.024	2	1.024	2.048	4.096	1.074	1.074
8	1	0.749	3	0.749	2.247	6.741	0.420	0.420
9	1	0.389	4	0.389	1.556	6.224	0.059	0.059
10	1/2	0.000	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sums	-	-	-	9.507	-4.124	50.058	-	13.091

$$\delta L = 0.893 \text{ m}$$

$$A_W = 2 \times 0.893 \times 9.507 = 16.98 \text{ m}^2$$

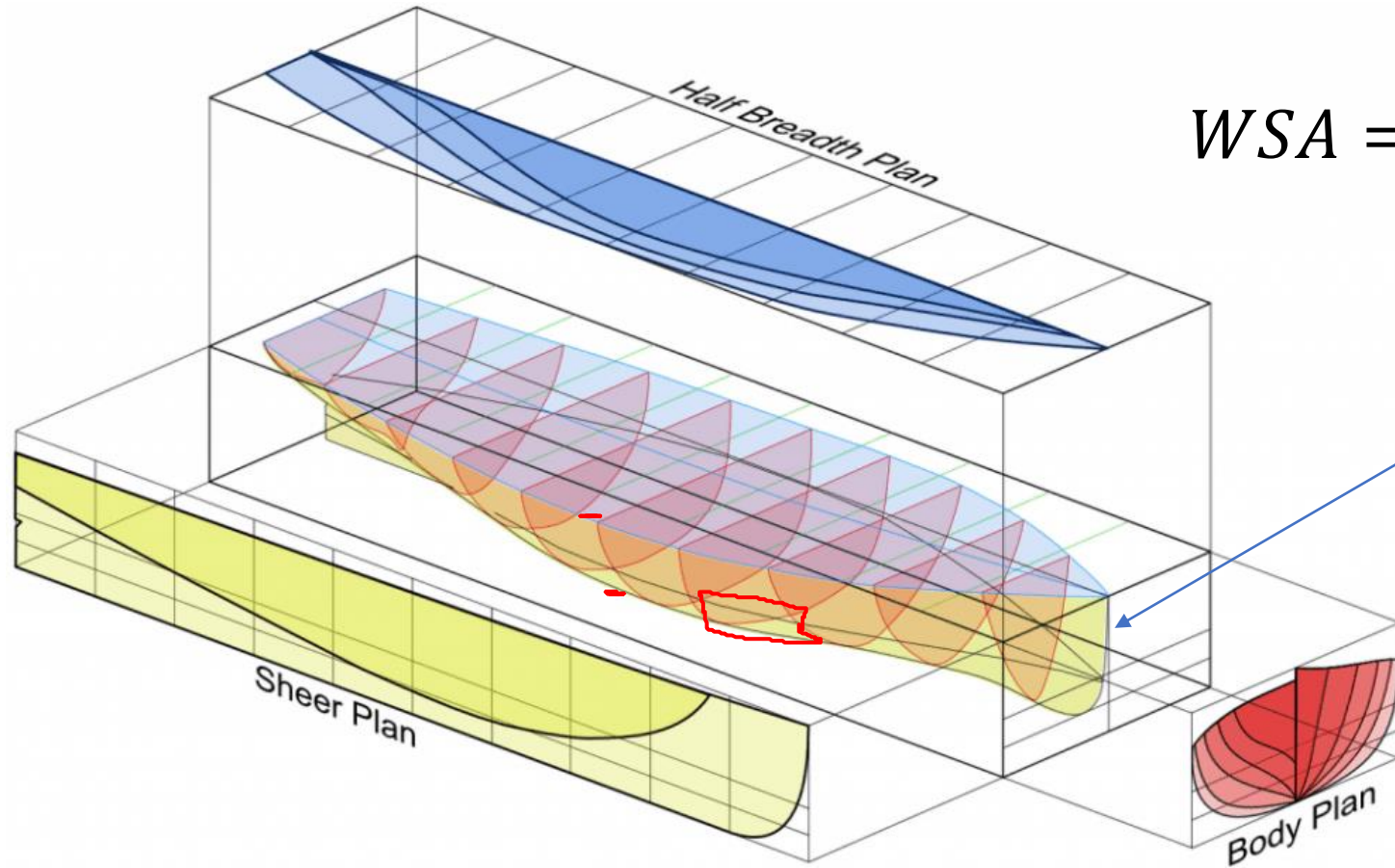
$$LCF = \frac{-4.124}{9.507} \times 0.893 = -0.387 \text{ m}$$

Midship Section Area



$$A_m = 2 \int_b^a y dz$$

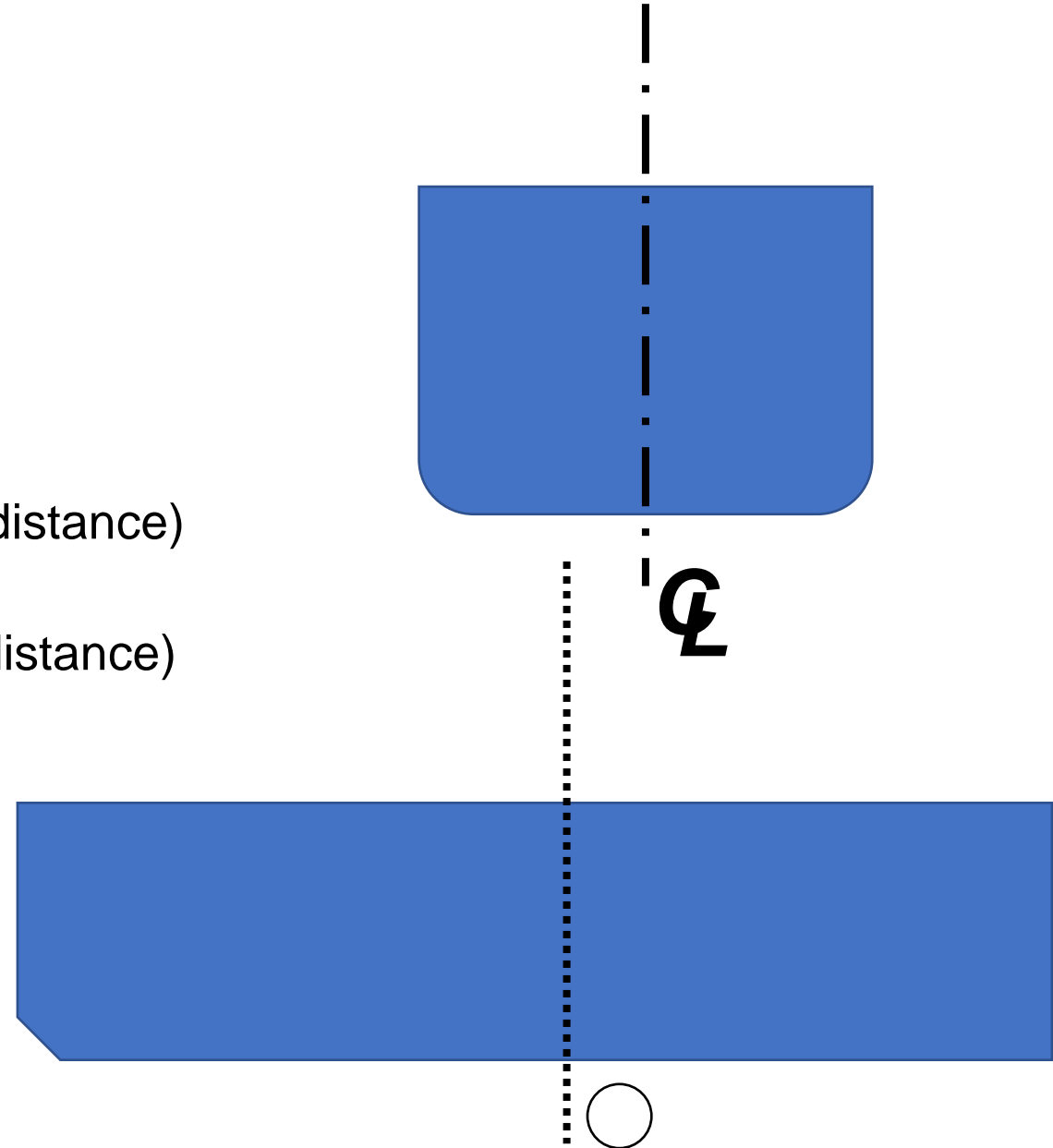
Wetted Surface Area



$$WSA = \int_{kell}^{draught} (halfbreadth_{line}) dz$$

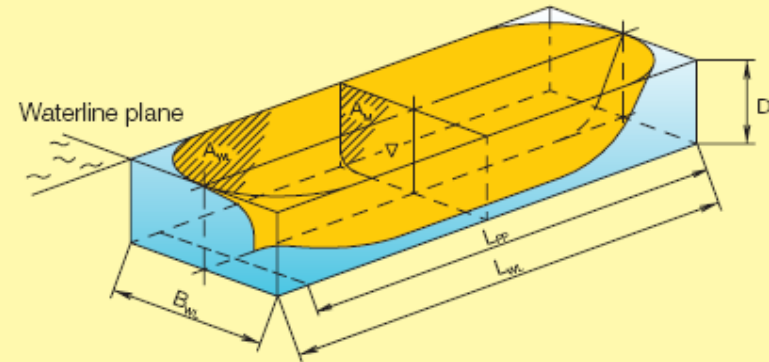
Volume Properties

1. Displacement
2. Volume Displacement
3. KB (Keel to Centre of Buoyancy)
4. LCB (Longitudinal Centre of Buoyancy)
5. LKM (Keel to Longitudinal Metacenter distance)
6. LBM (Longitudinal Metacenter Radius)
7. TKM (Keel to Transversal Metacenter distance)
8. TBM (Transversal Metacenter Radius)



Coefficient Properties

1. C_b
2. C_p
3. C_w
4. C_m



Volume of displacement	: ∇
Waterline area	: A_{WL}
Block coefficient, L_{WL} based	: $C_B = \frac{\nabla}{L_{WL} \times B_{WL} \times D}$
Midship section coefficient	: $C_M = \frac{A_M}{B_{WL} \times D}$
Longitudinal prismatic coefficient	: $C_P = \frac{\nabla}{A_M \times L_{WL}}$
Waterplane area coefficient	: $C_{WL} = \frac{A_M}{L_{WL} \times B_{WL}}$

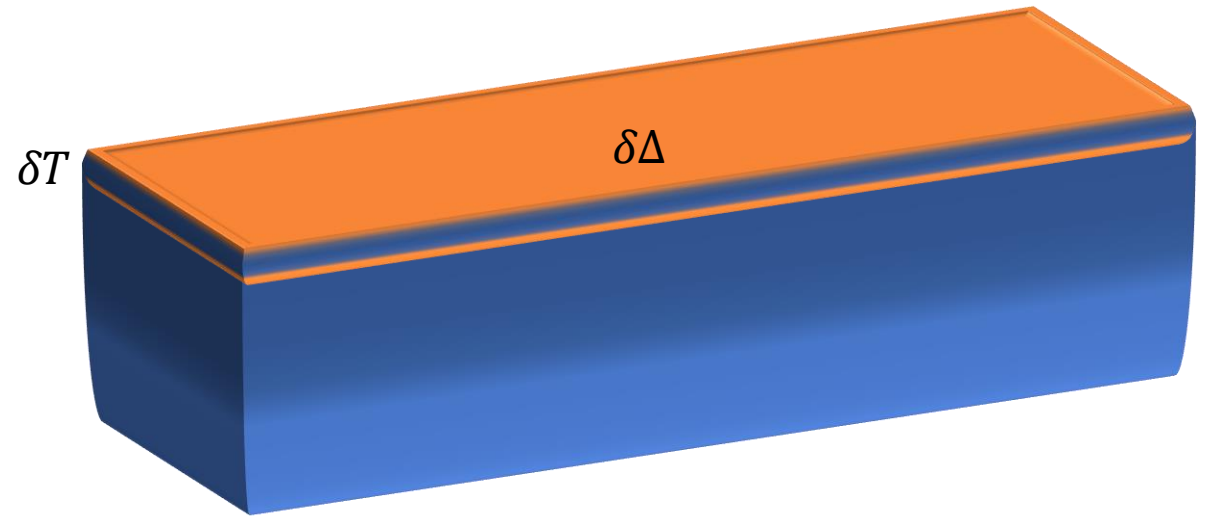
Derived Values – TPC (Ton per Centimeter immersion)

- Misal kita punya kapal dengan displacement Δ_0 pada draught tertentu T_0 .
- Kapal mengalami perubahan draught sebesar 1 cm δT , dan kita akan mencari berapa ton perubahannya $\delta\Delta$ (slope diabaikan)

$$\delta\Delta = \rho_w A_w \delta T$$

- Jika kita buat dalam satuan m maka $\delta T = \frac{1}{100}$ sehingga:

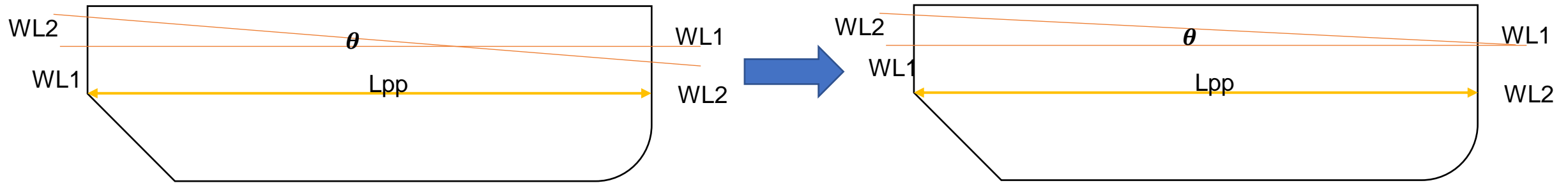
$$\delta\Delta = \frac{\rho_w A_w}{100}$$



Derived Values – MTC (moment to change trim by 1 m)

1. Jika kita asumsikan kapal mengalami trim 1 m, punya sudut trim kecil θ , maka

$$\tan\theta = \frac{1}{L_{pp}}$$



2. Sedangkan kita tahu bahwa momen pengembali trim (longitudinal) \rightarrow

$$M_T = \overline{MG_L} \sin\theta$$

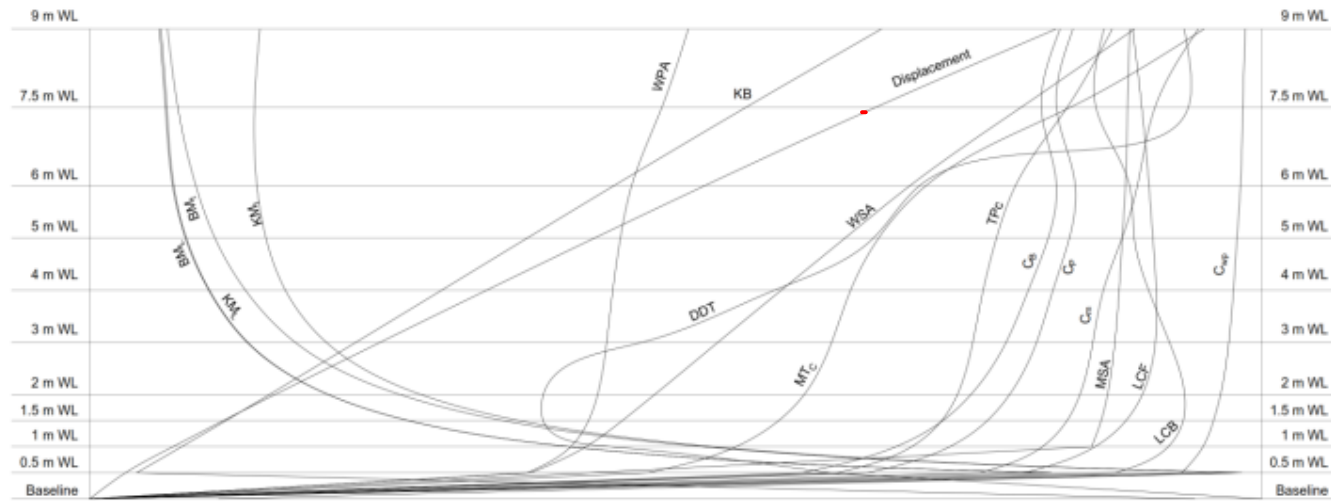
3. Di sudut yang kecil, $\sin\theta = \tan\theta$

$$M_{TC} = \overline{MG_L} \cdot \frac{1}{L_{pp}} \rightarrow M_{TC} = \frac{\overline{MG_L}}{L_{pp}}$$

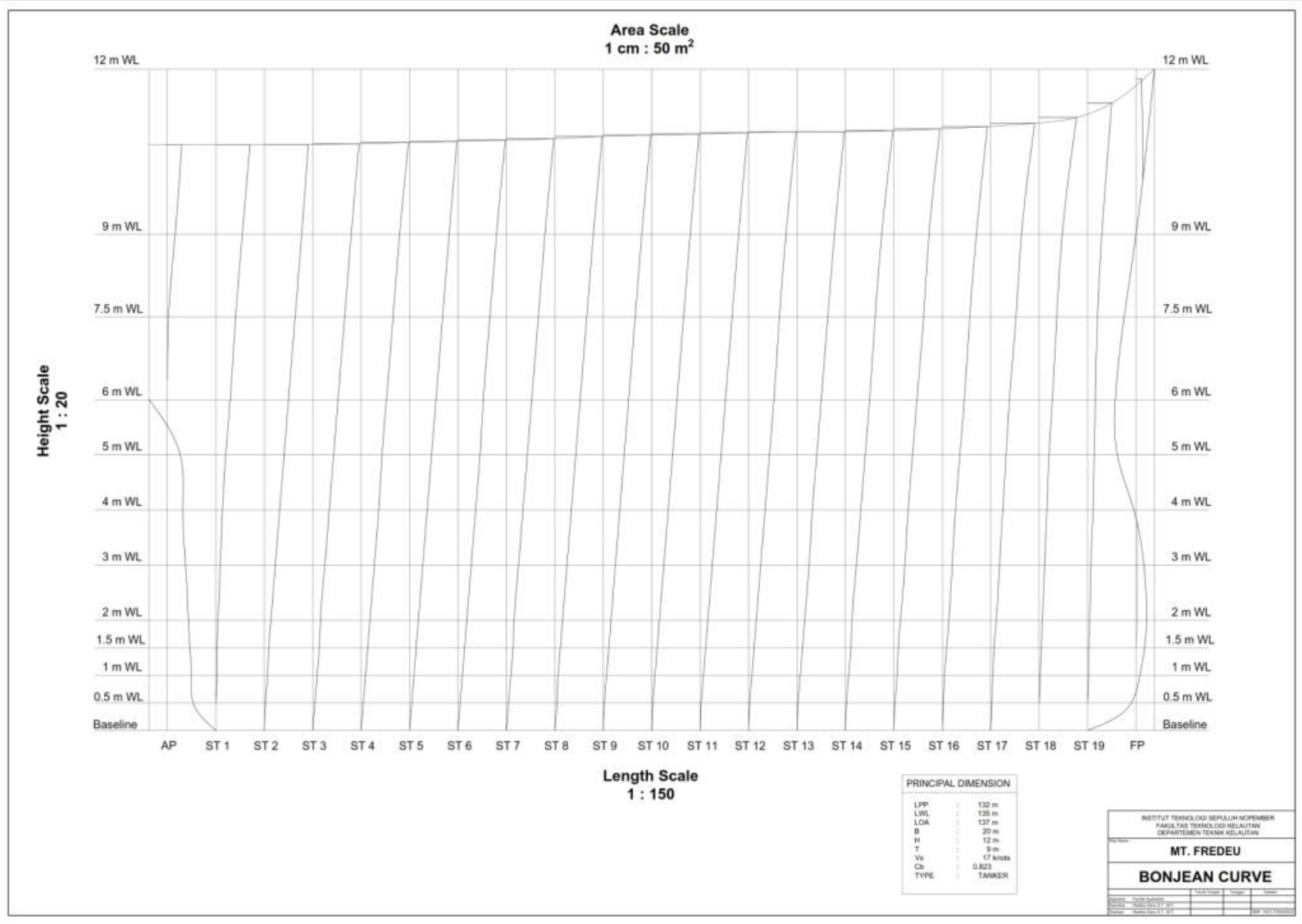
4. Di tahap awal desain, KG tidak diketahui sehingga diasumsikan $KG=KB$, maka:

$$M_{TC} = \frac{\overline{MB_L}}{L_{pp}}$$

Produk Akhir



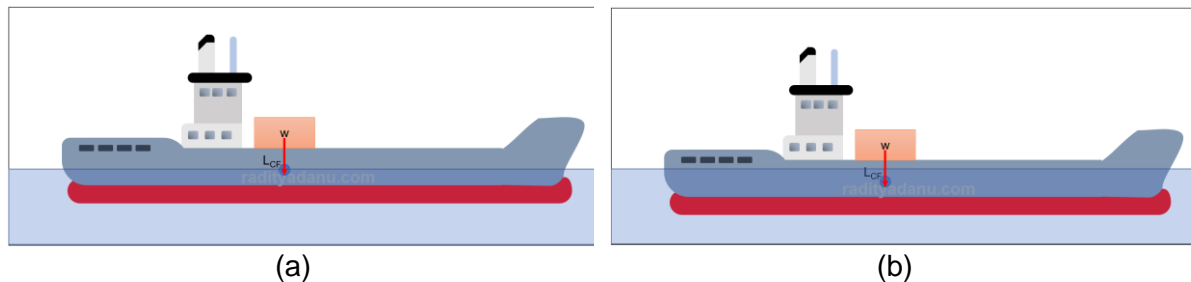
Displacement	(ton)	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500
Area	(m ²)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Coefficient		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Midship Section Area	(m ²)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Long. Center from amidship	(m)	-35	-31.5	-28	-24.5	-21	-17.5	-14	-10.5	-7	-3.5	0
KB	(m)	0	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.9	5.6	6.3	7
KM _i & BM _i	(m)	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
KM _w & BM _w	(m)	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
TPc	(m/ton)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
MTc	(ton.cm)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
DDT	(m/ton)	-1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0



Trim: Penambahan, Pengurangan dan Pemindahan Muatan

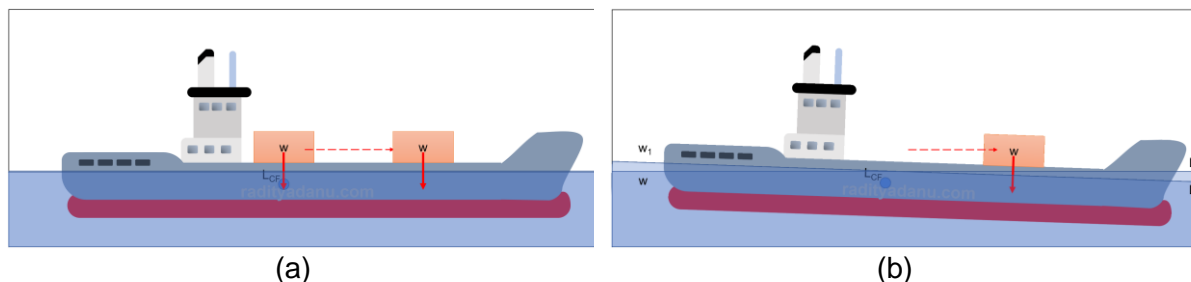
1 EFEK PENAMBAHAN/PENGURANGAN MUATAN TERHADAP TRIM

Ketika suatu beban dimuat tepat di atas LCF, maka tidak ada trim yang terjadi, karena beban tepat berada di atas titik tangkap luasannya. Sehingga draft yang terjadi di AP dan FP bertambah secara uniform (***bodily sinkage***). Hal yang berlawanan terjadi jika muatan yang ada di atas kapal dikurangi tepat di atas LCF, yaitu berkurangnya draft di AP dan FP secara uniform (***bodily rise***).



Gambar 1. Penambahan muatan tepat di atas LCF akan membuat draft kapal bertambah secara uniform

Lalu, ketika muatan tersebut dipindahkan ke depan atau ke belakang LCF, ***trim*** akan terjadi akibat perpindahan tersebut.



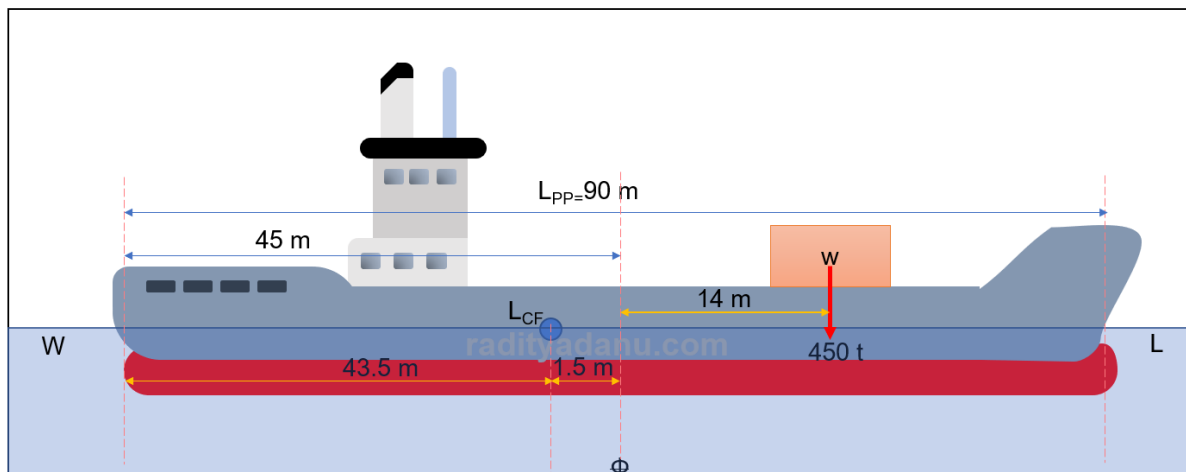
Gambar 2. Ketika muatan tersebut dipindahkan, terjadilah trim

Nah, jika kedua gambar di atas terjadi secara bersamaan, alias muatan ditambahkan tidak tepat berada di atas LCF, maka dua hal terjadi secara bersamaan: ***bodily sinkage*** dan ***trim***. Hal yang sama terjadi jika dilakukan hal yang berlawanan, yaitu mengurangi muatan yang tidak tepat berada di atas LCF. Yang terjadi adalah ***bodily rise*** dan ***trim***.

1.1 CONTOH 1: MENENTUKAN DRAFT BARU DI AP DAN FP SETELAH DITAMBAH MUATAN

Kapal dengan $L_{pp} = 90$ m pada kondisi even keel dengan draft di AP = FP = 5 m. LCF berada 1.5 m di belakang midship. Kapal tersebut memiliki TPC = 10 tonnes dan MTC = 120 tonnes.m, tentukan draft baru di AP dan FP jika terdapat beban 450 tonnes yang dimuat dengan posisi 14 m di depan midship.

STEP 1: Menggambar sketsa



Gambar 3. Sketsa persoalan 1

STEP 2: Menghitung bodily sinkage

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

STEP 3: Menghitung change of trim

$$\begin{aligned}
 \text{Change of trim} &= \frac{\text{Trimming moment}}{MTC} \\
 &= \frac{450 \times 15.5}{120} \\
 &= 58.12 \text{ cm mengarah ke haluan}
 \end{aligned}$$

STEP 4: Menghitung change of draft

$$\begin{aligned}
 \text{Change of draft AP} &= \frac{L_{CF}}{L_{PP}} \times \text{Change of trim} \\
 &= \frac{43.5}{90} \times 58.12 \\
 &= 28.09 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Change of draft FP} &= \frac{L_{PP} - L_{CF}}{L_{PP}} \times \text{Change of trim} \\
 &= \frac{90 - 43.5}{90} \times 58.12 \\
 &= 30.03 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

STEP 5: Menghitung perubahan draft di AP dan FP

Posisi	AP	FP
Original draft (m)	5.000	5.000
Bodily sinkage (m)	+0.450	+0.450
Change due to trim (m)	-0.281	+0.300
New draft (m)	5.169	5.750

Dari contoh 1 di atas dapat kita perhatikan bahwa dalam penambahan muatan, terdapat dua aspek yang perlu dihitung, yaitu **bodily sinkage** dan **change of trim**. Change of trim yang terjadi adalah kemiringan ke arah ditambahkannya muatan, baik itu di depan atau di belakang midship.

Berikutnya kita akan membahas tentang pengurangan muatan serta efeknya terhadap trim:

1.2 CONTOH 2: MENENTUKAN DRAFT BARU DI AP DAN FP SETELAH DIKURANGI MUATAN

Bangunan apung berbentuk box sederhana dengan $L \times B \times H = 40 \times 6 \times 3$ m mengapung di air laut dengan draft 2 m pada kondisi even keel. Tentukan draft baru jika muatan yang ada dikurangi 35 tonnes dari posisi 6 m dari forward. $MTC = 8.4$ tonnes.m.

STEP 1. Menentukan TPC

$$\begin{aligned}
 TPC &= \frac{WPA}{40 \times 6} \\
 &= \frac{97.56}{240} \\
 TPC &= 24.6 \text{ tonnes}
 \end{aligned}$$

STEP 2. Menghitung bodily rise

$$\begin{aligned}
 \text{Bodily rise} &= \frac{w}{TPC} \\
 &= \frac{35}{24.6} \\
 \text{Bodily rise} &= 1.42 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

STEP 3. Menghitung change of draft di AP dan FP

$$\begin{aligned}
 \text{Change of trim} &= \frac{w \times d}{MTC} \\
 &= \frac{35 \times 14}{8.4} \\
 \text{Change of trim} &= 58.3 \text{ cm ke arah stern} \\
 \\
 \text{Change of draft AP} &= \frac{L_{CF}}{L_{OA}} \times \text{change of trim} \\
 &= \frac{1}{2} \times 58.3 \text{ cm} \\
 &= 29.15 \text{ cm} \\
 \text{Change of draft FP} &= 58.3 - 29.15 = 29.15 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

STEP 4: Menghitung draft baru di AP dan FP

Posisi	AP	FP
Original draft (m)	2.000	2.000
Bodily rise (m)	-0.140	-0.140
Change due to trim (m)	+0.290	-0.290
New draft (m)	2.150	1.570

Dari contoh 1 di atas dapat kita perhatikan bahwa dalam penambahan muatan, terdapat dua aspek yang perlu dihitung, yaitu bodily rise dan change of trim. Change of trim yang terjadi memiliki kemiringannya dengan arah menjauhi lokasi diangkatnya muatan, baik itu di depan atau di belakang midship.

1.3 CONTOH 3: GABUNGAN PENAMBAHAN DAN PENGURANGAN MUATAN

Kapal merapat dengan draft 3m FP dan 4.3m AP. Kapal ini memiliki TPC = 10 tonnes, sedangkan MTC = 120 tonnes.m. LCF berada di 3 m menuju midship. Jika terdapat 80 tonnes muatan ditambahkan dengan jarak 24 m ke arah FP dari midship dan pembongkaran muatan 40 tonnes dengan jarak 12 m ke arah AP, tentukan draft baru di AP dan FP!

STEP 1: Menghitung bodily sinkage/rise. Kita belum tahu apakah terjadi bodily sinkage atau rise, sehingga kita harus menghitung dahulu total muatan yang ditambah dan dikurangkan. Jika hasilnya positif maka terjadi penambahan muatan sehingga draft akan bertambah (bodily sinkage). Jika hasilnya negatif maka draft akan berkurang (bodily rise).

Cargo ditambahkan = +80 tonnes
 Cargo dikurangi = -40 tonnes
 Total (w) = +40 tonnes (bodily sinkage)
 Bodily sinkage:

$$\begin{aligned}
 \text{Bodily sinkage} &= \frac{w}{TPC} \\
 &= \frac{40}{10} = 4 \text{ cm} = 0.04 \text{ m}
 \end{aligned}$$

STEP 2. Menghitung momen terhadap L_{CF}.

Item	Berat (tonnes) [(+) muat / (-) bongkar]	Lever (m) [(+) arah AP (-) arah FP]	Trimming moment thd. L _{CF} (tonnes.m) [(+) trim by bow / (-) trim by stern]
Cargo 1	+80	-27	-2160
Cargo 2	-40	+9	-360
		TOTAL	-2520

STEP 3. Menghitung change of draft di AP dan FP

$$\begin{aligned}
 \text{Change of trim} &= \frac{\text{Trimming moment}}{MTC} \\
 &= \frac{2520}{120} \\
 \text{Change of trim} &= 21 \text{ cm ke arah bow}
 \end{aligned}$$

Change of draft AP

$$= \frac{L_{CF}}{L_{OA}} \times \text{change of trim}$$

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

$$= 9.87 \text{ cm}$$

Change of draft FP

$$= \frac{L_{pp} - L_{CF}}{L_{OA}} \times \text{change of trim}$$

$$= \frac{53}{100} \times 21 \text{ cm}$$

$$= 11.13 \text{ cm}$$

STEP 4: Menghitung draft baru di AP dan FP

Posisi	AP	FP
Original draft (m)	4.300	3.000
Bodily sinkage (m)	+0.040	+0.040
Change due to trim (m)	-0.099	+0.111
New draft (m)	4.241	3.151

Dari contoh 3 di atas, dapat disimpulkan bahwa dalam menghitung trim total jika ada beberapa muatan yang ditambah dan dikurangi adalah dengan menggunakan tabel momen terhadap LCF seperti yang dicontohkan di atas. Dapat dilihat bahwa proses perhitungan dalam tabel moment terhadap LCF sangatlah identik dengan perhitungan trim di stabilitas transversal. Maka jika pembaca telah menguasai stabilitas transversal, maka stabilitas longitudinal dapat pula dikuasai dengan baik dan relatif mudah.

Trim 3: Menentukan jumlah dan jarak muatan untuk memenuhi persyaratan draft tertentu

1 MENENTUKAN JUMLAH DAN JARAK MUATAN AGAR DRAFT DI AP TETAP KONSTAN

Ketika sebuah kapal sedang dalam proses bongkar muat, umumnya kapal dimuat dengan draft di AP lebih dalam, atau disebut *trim by stern*. Hal ini sangat berkaitan erat dengan tahanan kapal untuk mencapai kecepatan dinas dengan efisiensi maksimum.

Mari kita asumsikan sekarang bahwa ada sebuah kapal yang dimuat dengan trim by stern siap untuk berlayar. Kemudian diketahui bahwa kapal harus memuat beban ekstra. Muatan harus dimuat dengan posisi sedemikian rupa sehingga draft buritan tidak berubah dan trim by stern tetap dipertahankan dengan hitungan semula (sebelum beban ekstra ditambahkan).

Jika muatan dengan besaran 'w' diletakkan tepat di atas LCF, draft kapal akan meningkat secara seragam dan draft di AP akan bertambah dengan besaran w/TPC . Dengan perubahan ini, maka draft di AP harus dikurangi sehingga ukuran trim by stern yang disyaratkan oleh kapten kapal bisa dipenuhi.

Bagaimana cara melakukannya? Muatan 'w' tersebut harus digeser ke arah FP sejauh 'd' sehingga terjadi momen yang menyebabkan kapal trim by head (trim by bow). Jarak 'd' harus dapat menghasilkan momen yang dapat mengubah draft di AP = $\frac{L_{CF}}{L_{PP}} \times \text{Change of trim}$.

Berapa jarak 'd' yang harus dipenuhi agar kapal kembali pada kondisi awal? Kita mendapatkan informasi awal bahwa perbedaan draft yang dihasilkan dibuat harus sama dengan perubahan trim yang terjadi (trim sebelum ditambahkan muatan), sehingga:

$$\frac{L_{CF}}{L_{PP}} \times \text{Change of trim} = \frac{w}{TPC}$$

Sehingga:

$$\text{Change of trim} = \frac{L_{PP}}{L_{CF}} \times \frac{w}{TPC} \quad (I)$$

Seperti kita pelajari di pertemuan Trim-1:

$$\text{Change of trim} = \frac{w \times d}{MTC} \quad (II)$$

Dengan (I) = (II) maka:

$$\frac{w \times d}{MTC} = \frac{L_{PP}}{L_{CF}} \times \frac{w}{TPC}$$

Sehingga:

$$d = \frac{L_{PP} \times MTC}{L_{CF} \times TPC}$$

Trim 3 – Menentukan jumlah dan jarak muatan untuk memenuhi persyaratan draft tertentu

Dimana:

d = Jarak yang harus dipindah pada muatan di atas LCF agar menjaga draft di AP tetap konstan

1.1 CONTOH 1: MENENTUKAN JARAK MUATAN YANG DITAMBAHKAN

Sebuah bangunan apung berbentuk box sederhana memiliki $L \times B \times H = 60 \times 10 \times 6$ m, mengapung di air laut dengan draft AP = 4.4 m dan FP = 4 m. Tentukan jarak yang harus diletakkan di atas LCF jika ada muatan 30 tonnes yang harus dimuat dan draft di AP harus tetap 4.4 m!

STEP 1: Menghitung TPC

$$\begin{aligned} TPC_{SW} &= \frac{WPA}{97.56} \\ &= \frac{60 \times 10}{97.56} \end{aligned}$$

$$TPC_{SW} = 6.15 \text{ tonnes}$$

STEP 2: Menghitung Displacement (dengan T adalah T rata-rata = $\frac{T_{AP} + T_{FP}}{2}$)

$$\begin{aligned} \Delta &= L \times B \times T \times \rho_{SW} \\ &= 60 \times 10 \times 4.2 \times 1.025 \\ \Delta &= 2583 \text{ tonnes} \end{aligned}$$

STEP 3: Menghitung BML

$$\begin{aligned} BM_L &= \frac{L^2}{12T} \\ &= \frac{60^2}{12 \times 4.2} \end{aligned}$$

$$BM_L = 71.42 \text{ meters}$$

STEP 4: Menghitung MTC

$$\begin{aligned} MTC &= \frac{\Delta \times BM_L}{100L} \\ &= \frac{2583 \times 71.42}{100 \times 60} \end{aligned}$$

$$MTC = 30.75 \text{ tonnes.m}$$

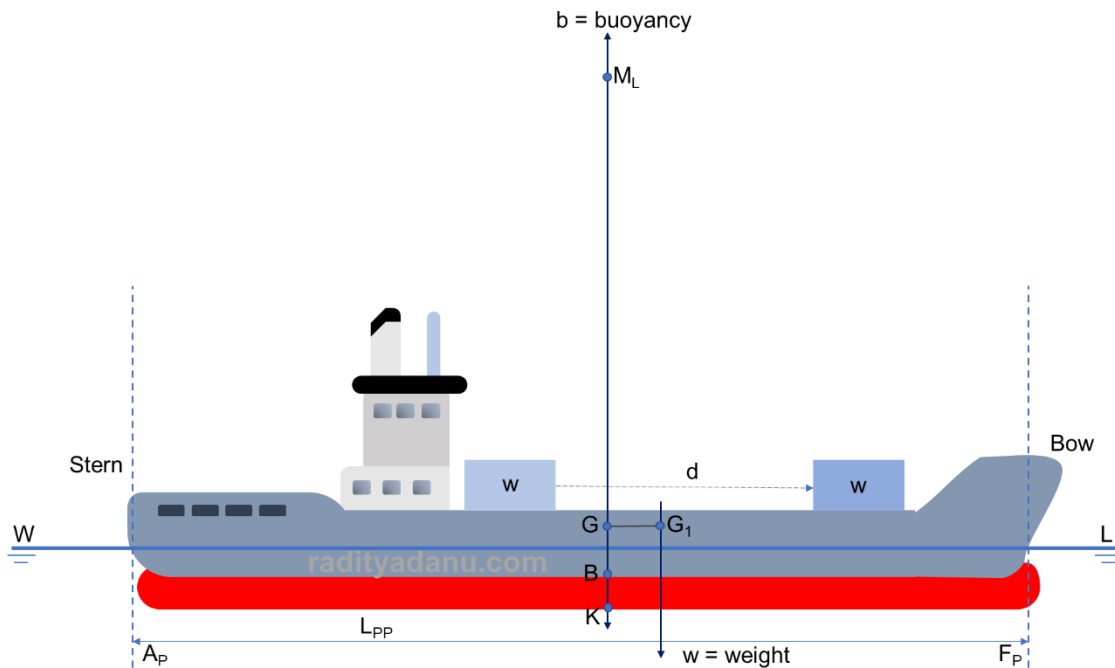
STEP 5: Menghitung d

$$\begin{aligned} d &= \frac{L_{PP} \times MTC}{L_{CF} \times TPC} \\ &= \frac{60 \times 30.75}{30 \times 6.15} \end{aligned}$$

$$d = 10 \text{ m dari } L_{CF}$$

Trim 4 – Menentukan GML dengan menggunakan *change of trim*

Kita bisa mendapatkan informasi nilai GML dengan memanfaatkan perbedaan sarat ketika terjadi trim. Bagaimana caranya? Kita akan bahas di pertemuan kali ini. Mari kita lihat Gambar 1 di bawah ini. Sebuah kapal dengan titik tangkap gaya buoyancy B memiliki titik berat awal G dan titik metacenter longitudinal M_L . Seperti yang sudah kita bahas di pertemuan awal, bahwa penyebab trim adalah perpindahan muatan secara longitudinal dan menyebabkan titik berat G berpindah ke G_1 , dan menyebabkan trimming moment $w \times GG_1$ ke arah bow.



Gambar 1. Penyebab trim

Selanjutnya kapal akan mengalami trim sampai pada level dimana keadaan titik G_1 berada secara vertical tepat di bawah titik M_L , seperti tertera di Gambar 2 berikut. Trim menyebabkan perubahan waterline menjadi W_1L_1 akibat turunnya draft di FP. Bertambahnya draft di FP disimbolkan dengan garis F dan berkurangnya draft di AP disimbolkan dengan garis A. Sedangkan t adalah nilai trim baru dengan nilai $t = F - A$. Karena posisi awal kapal adalah even keel, maka nilai t adalah sama dengan perubahan trim yang terjadi. Seperti yang kita bahas di kuliah Trim-2, bahwa sudut θ memiliki nilai yang sama pada perpotongan dua garis vertical (garis M_LG dan M_LG_1) dan pada perpotongan dua garis horizontal (WL dan W_1L_1).

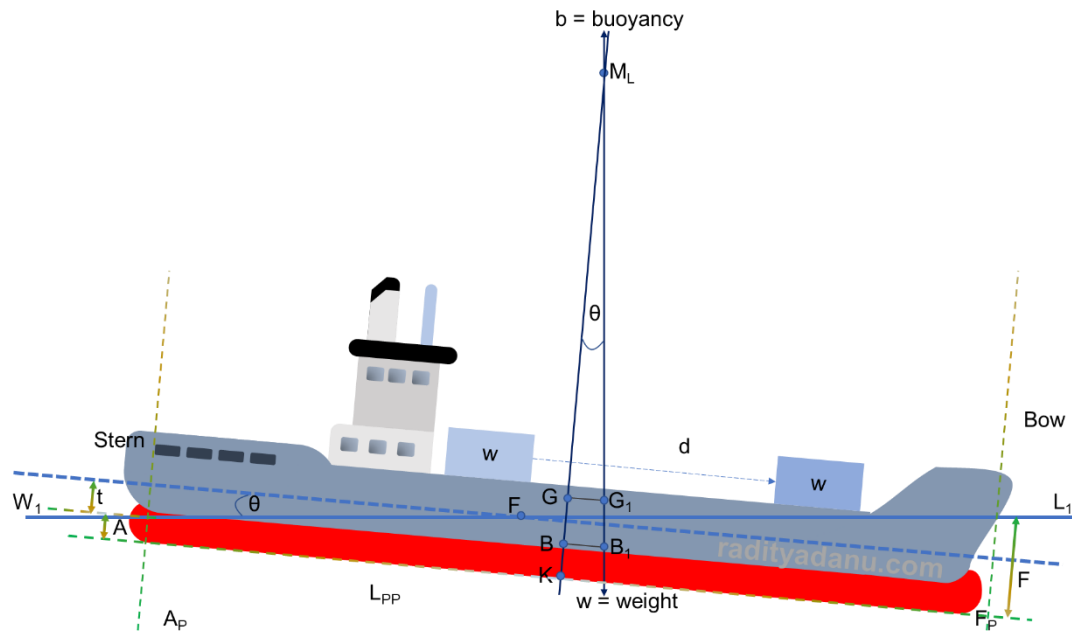
Sehingga:

$$\frac{GM_L}{GG_1} = \frac{L_{PP}}{t}$$

Atau dapat ditulis dengan:

$$GM_L = \frac{L_{PP}}{t} \times GG_1$$

Trim 4 – Menentukan GML dengan menggunakan *change of trim*



Gambar 2. Perubahan draft akibat trim

Contoh:

Kapal dengan $L_{PP} = 120$ m, dipindahkan muatannya dan menyebabkan perubahan titik G sebesar 0.2 m dan change of trim 0.15 m. Tentukan tinggi metacenter longitudinalnya!

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

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

$$= \frac{120 \times 0.2}{0.15}$$

Ans. $GM_L = 160$ meters.

COMBINED TRIM AND LIST

Dalam banyak kasus kita menemukan kondisi dimana trim dan list terjadi bersamaan akibat perletakan muatan. Dalam perspektif Offshore Engineering, kejadian ini sering sekali terjadi pada Marine Operation. Gambar 1 di bawah ini adalah contoh marine operation pada transportasi jacket. Dimana perletakan jacket tidak ideal (tidak tepat pada LCF dan centerline) sehingga perlu dilakukan perhitungan trim dan list sehingga didapatkan jumlah dan konfigurasi ballas yang tepat agar kapal pada posisi *upright* dan *even keel*.

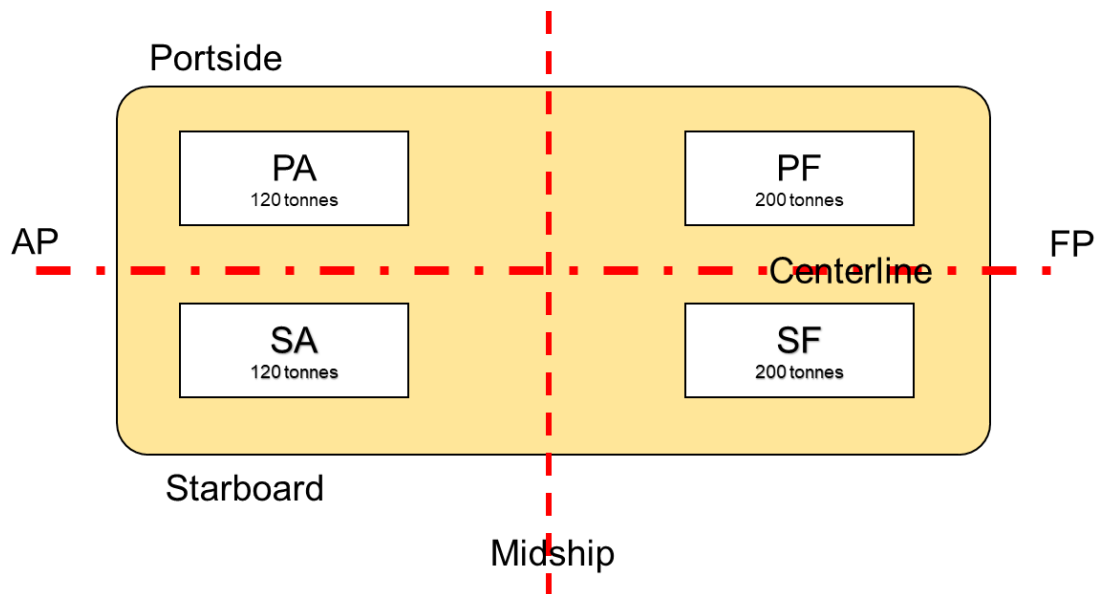


Gambar 1. Contoh Marine Operation: Transportasi Jacket [1]

Sebagai seorang offshore engineer, baik itu dalam tahap desain, konstruksi, instalasi maupun operasi, kita tidak akan terlepas dari dua kondisi ini dan bahkan dapat terjadi secara bersamaan. Di Kuliah-13 kali ini kita akan menggabungkan apa yang telah kita pelajari dari pertemuan minggu pertama hingga ke-12. Pada dasarnya dalam menghitung kombinasi antara trim dan list, kita hanya perlu menjabarkannya satu-persatu dan menghitung layaknya pada kuliah sebelumnya. Umumnya trim yang dihitung terlebih dulu lalu dilanjutkan dengan perhitungan list. Mari kita perhatikan contoh kasus di bawah ini:

CONTOH KASUS

Sebuah barge dengan displacement 4500 tonnes memiliki $KM_T = 7$ m, $KG = 6.4$ M dan $MTC = 120$ tonnes.m, barge ini diberi muatan 1500 tonnes dan mengalami list 5° ke starboard dan trim 0.15 m menuju bow. Kondisi akhir yang harus dicapai sebelum barge ini berangkat dalam voyage nya adalah kondisi upright (portside-starboard memiliki draft yang sama) dan trim 0.3 m by stern dengan memindahkan air ballast. Ballast tank terdiri dari 4 tanki seperti tertera di Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Konfigurasi Tanki

Keempat tank tersebut memiliki titik berat masing-masing adalah 5.25 m dari centerline. Tank di forward memiliki kapasitas masing-masing 200 tonnes air ballast dan tank di aft memiliki kapasitas 120 tonnes air ballast. Kondisi saat ini kedua tank di forward terisi penuh sedangkan tank di aft dibiarkan kosong. Secara melintang, titik berat tank di F adalah 23.5 m ke arah forward dan titik berat tank A adalah 21.5 m ke arah aft. Berapa berat air ballast yang harus ditransfer dari tanki di portside ke tanki starboard agar kapal berada di kondisi yang disyaratkan?

STEP 1: Gambar konfigurasi tanki dan ekstraksi semua informasi yang berguna.

- Displacement total = 4500 + 1500 = 6000 tonnes
- KM_T = 7 m
- KG = 6.4 m
- MTC = 120 tonnes.m
- Trim = 0.15 m by bow
- List = 5 degrees to stbd

STEP 2: Menghitung kondisi ideal trim

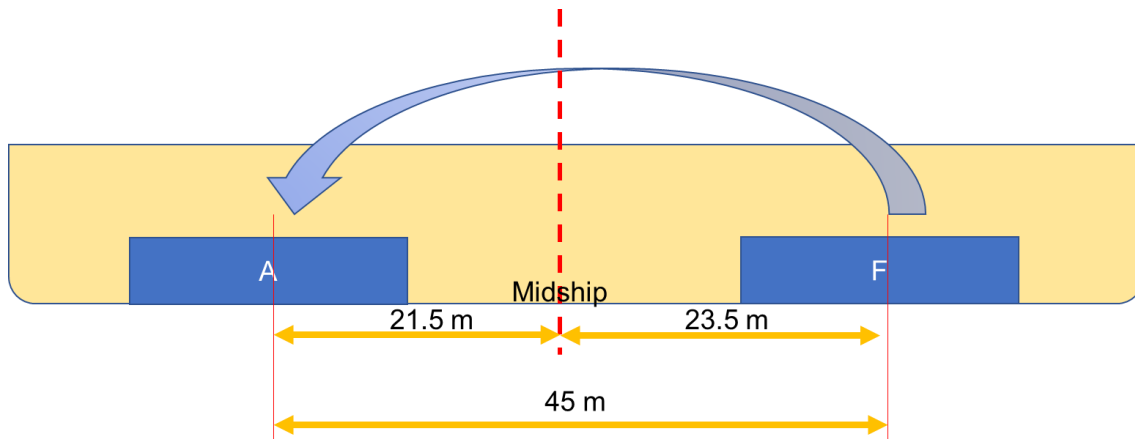
Seperti yang tertera pada pernyataan di soal, bahwa kondisi trim yang disyaratkan adalah 0.3 m trim by stern

- Trim yang sekarang terjadi = 0.15 m by bow
- Trim yang disyaratkan = 0.30 m by stern
- Change of trim yang dibutuhkan = 0.45 m by stern = 45 cm by stern

Maka untuk menghitung momen yang dibutuhkan untuk mengubah kondisi trim nya adalah mengalikan change of trim yang dibutuhkan dengan MTC nya.

- Trim moment = $change\ of\ trim \times MTC$
- = 45 × 120
- Trim moment = 5400 tonnes.m by stern

Selanjutnya adalah menentukan jarak antar titik berat melintang pada tanki yang akan di transfer.



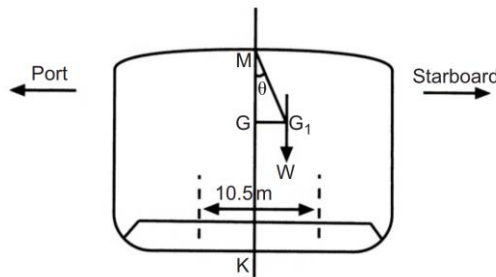
Gambar 3. Perpindahan ballast longitudinal

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa jarak yang harus dipindahkan adalah 45 m (jarak tanki A ke midship + jarak tanki F ke midship), maka:

$$\begin{aligned} \text{Trim moment} &= w \times d \\ &= w \times 45 \\ \text{Trim moment} &= 45w \\ 5400 &= 45w \\ w &= 120 \text{ tonnes to stern (from A to F tank)} \end{aligned}$$

STEP 3: Menghitung kondisi ideal list (posisi upright)

Menentukan segitiga listing GG_1M :



Gambar 4. Perpindahan ballast transversal

$$\begin{aligned} KM_T &= 7 \text{ m} \\ KG &= 6.4 \text{ m} \\ GM_T &= KM_T - KG = 7 - 6.4 = 0.6 \text{ m} \end{aligned}$$

Diketahui bahwa sudut list = 5° ke arah starboard, maka:

$$\begin{aligned} GG_1 &= GM \times \tan \theta \\ &= 0.6 \times \tan(5^\circ) \\ GG_1 &= 0.0525 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan demikian maka untuk mengembalikan ke kondisi upright, momen yang dibutuhkan adalah momen untuk membuat kapal list 5 derajat ke arah kebalikannya (list 5 derajat ke arah portside).

$$\begin{aligned} \text{Moment to portside} &= \Delta \times GG_1 \\ &= 6000 \times 0.0525 \end{aligned}$$

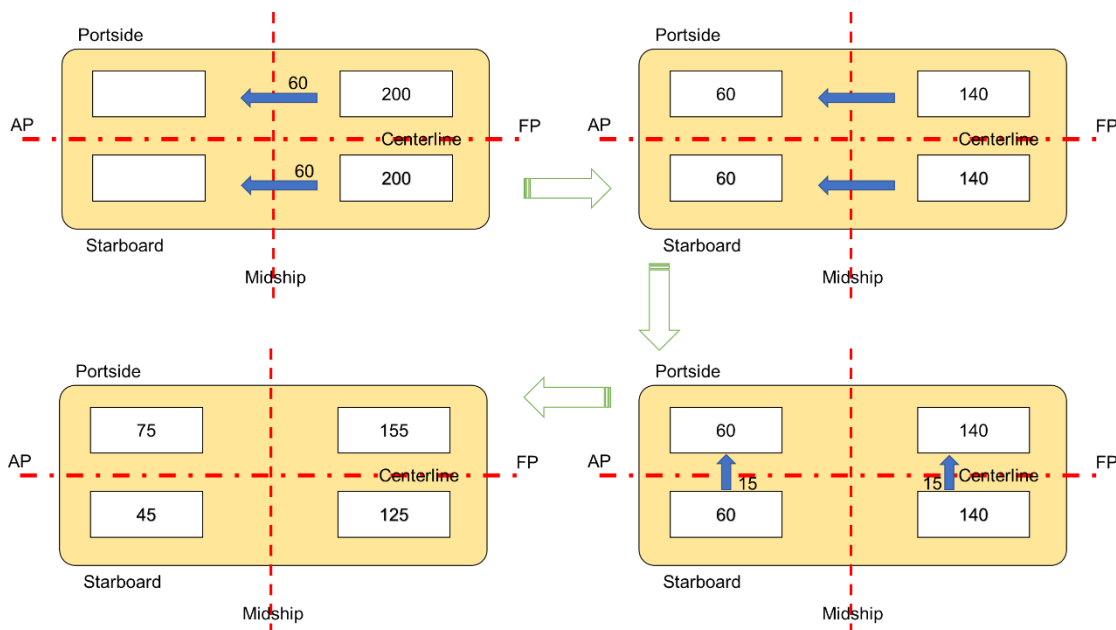
$$\text{Moment to portside} = 315 \text{ tonnes.m ke arah port}$$

Dari gambar dapat diketahui bahwa jarak titik berat tanki ke arah centerline adalah 10.5 m, maka dengan persamaan momen = lengan x berat dapat kita ketahui berat air ballast yang harus dipindahkan:

$$\begin{aligned} \text{Moment to portside} &= 10.5 \times w_p \\ 315 &= 10.5w_p \\ w_p &= 30 \text{ tonnes to portside} \end{aligned}$$

STEP 4: Strategi perpindahan air ballast

Dari perhitungan di atas dapat kita simpulkan bahwa 120 tonnes harus dipindah dari forward ke aft, dan 30 tonnes harus dipindah dari starboard ke portside. Salah satu cara yang bisa dilakukan adalah memindahkan masing-masing 60 tonnes ballast dari F tank ke A tank, lalu memindahkan masing-masing 15 tonnes ballast dari S tank ke P tank seperti tertera pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. Strategi perpindahan air ballast