

# **MATERI KULIAH (DRAFT)**

## **MERANCANG KAPAL II**



*Oleh:*

**Dr. Ir. WOLTER R. HETHARIA, M.App.Sc dan Team**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN  
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN - FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS PATTIMURA AMBON  
2019**

## 1. Materi Pokok

Materi pokok dari mata kuliah ini terdiri dari:

- Review Kekuatan Material
- Perhitungan elemen konstruksi berdasarkan Rules BKI
- Konstruksi Badan Kapal
- Perhitungan Elemen Konstruksi Dasar Kapal
- Perhitungan gading, linggi, sekat
- Perhitungan konstruksi memanjang dan sekat
- Perhitungan konstruksi geladak dan bangunan atas
- Perhitungan distribusi massa kapal dan titik berat
- Perhitungan gaya geser dan momen lentur di air tenang
- Perhitungan Gaya Geser dan Momen Lentur di Air Bergelombang
- Perhitungan modulus penampang kapal
- Perhitungan tegangan normal dan geser akibat gaya dan momen total
- Penggambaran elemen konstruksi midship section
- Penggambaran elemen konstruksi alas, geladak utama dan platform Kamar Mesin
- Penggambaran elemen konstruksi sekat, bangunan atas, rumah geladak, ceruk haluan, bak rantai, ceruk buritan dan stern tube

## BAB I. REVIEW KEKUATAN MATERIAL

### I.1. Review Gaya dan Momen Pada Balok

Topik pembahasan ini diberikan agar mahasiswa diingatkan kembali tentang prinsip penentuan gaya-gaya geser dan momen lentur yang bekerja pada suatu penampang balok. Selanjutnya tegangan yang terjadi pada balok haruslah dapat ditentukan dan dievaluasi kembali. Secara keseluruhan topik pembahasan ini mengharuskan mahasiswa untuk dapat memeriksa kekuatan dari balok ketika dibebani dengan berbagai gaya dan momen yang bekerja padanya.

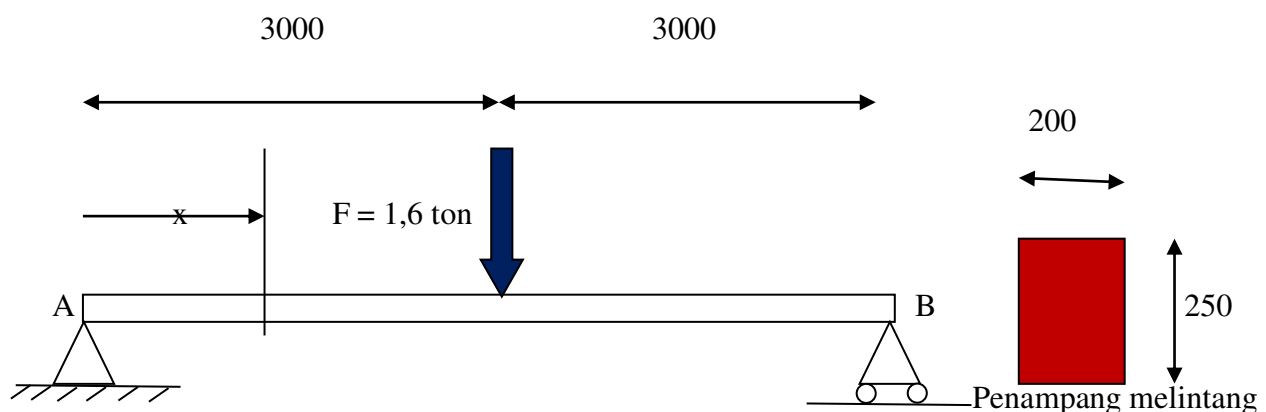
Konsep pemeriksaan kekuatan balok ini diaplikasikan terhadap perhitungan dan evaluasi kekuatan struktur suatu kapal. Prinsip utama dari konsep ini adalah kapal dipandang sebagai suatu balok kosong (hollow beam) dan dari sini gaya-gaya geser, momen lentur, momen inersia serta modulus penampang melintang balok ditentukan. Selanjutnya evaluasi dilakukan terhadap kekuatan struktur kapal tersebut. Dengan demikian maka mahasiswa dimintakan untuk mempelajari kembali prinsip perhitungan kekuatan balok serta rumus-rumus yang berkaitan dengannya.

Berikut ini diberikan contoh tentang perhitungan kekuatan balok.

#### Contoh 1:

Diketahui, gaya yang bekerja pada balok serta ukuran balok pada gambar berikut ini. Mahasiswa dimintakan untuk menghitung tegangan pada balok tersebut.

Penyelesaian (lihat gambar serta perhitungan berikut):



Langkah penyelesaian:

- Hitung reaksi gaya pada titik A dan B
- Hitung gaya geser (shearing force), SF
- Hitung momen lentur (bending moment), BM

- Tentukan BM maximum dan lokasinya
- Hitung momen inersia penampang (I) dan sumbu netral (neutral axis), NA
- Hitung modulus penampang (section modulus), SM atau W
- Tentukan tegangan pada atas balok (top) dan bawah balok (bottom)
- Selesai

### Penyelesaian:

Panjang balok total = 6,0 m

a. Hitung reaksi gaya-gaya RA dan RB  $\Sigma F_y = 0$   $RA + RB - F = 0$   $RA + RB = F$  .... (1)

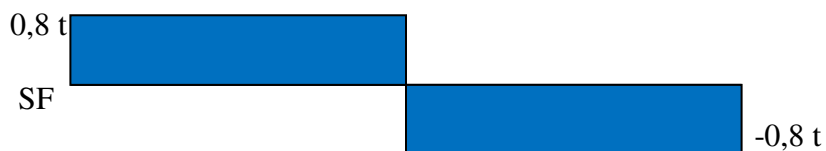
$$\Sigma M_A = 0 \quad F \cdot 3 - RB \cdot 6 = 0 \quad RB = 3F/6 = 0,80 \text{ ton}$$

$$\text{Masukan RB ke persamaan (1)} \quad RA = F - RB = 1,6 - 0,8 = 0,80 \text{ ton}$$

b. Hitung distribusi SF

Evaluasi SF pada setiap titik penampang yang berjarak x dari titik referensi A

Pada	$x = 0$	maka	$SF = RA = 0,8 \text{ ton}$
Pada	$0 < x < 3$	maka	$SF = RA = 0,8 \text{ ton}$
Pada	$x = 3$	maka	$SF = RA - F = 0,8 - 1,6 = -0,8 \text{ ton}$
Pada	$3 < x < 6$	maka	$SF = RA - F = 0,8 - 1,6 = -0,8 \text{ ton}$
Pada	$x = 6$	maka	$SF = RB = -0,8 \text{ ton}$



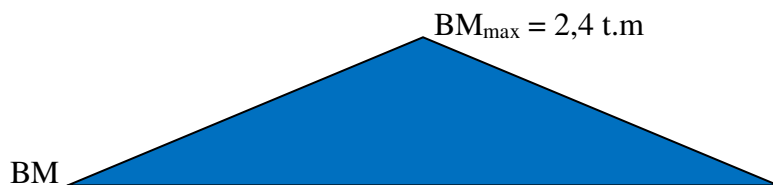
Hitung distribusi BM

$$BM = SF \cdot x$$

Pada  $x = 0$  maka  $BM = 0$

Pada  $x = 3$  maka  $BM = 0,8 \cdot 3 = 2,4 \text{ ton.m}$

Pada  $x = 6$  maka  $BM = (0,8 \cdot 6) - (1,6 \cdot 3) = 0$



$BM_{\max} = 2,4 \text{ ton.m} = 240000 \text{ kg.cm}$  pada  $x = 3 \text{ m}$ .

## I.2. Perhitungan Momen Inersia Penampang (I) dan Section Modulus (SM, W).

Untuk menghitung W, diperlukan Momen inersia (I).

Untuk persegi:  $I = b \cdot h^3 / 12 = (20 \cdot 25^3) / 12 = 26042 \text{ cm}^4$ .

$NA = 25/2 = 12,5 \text{ cm}$ .

$y_{\text{bottom}} = 12,5 \text{ cm}$        $y_{\text{top}} = 12,5 \text{ cm}$

$W_{\text{bot}} = I/y_{\text{bot}} = 26042/12,5 = 2083 \text{ cm}^3$ .

$W_{\text{top}} = I/y_{\text{top}} = 26042/12,5 = 2083 \text{ cm}^3$ .

$\sigma_{\text{bot}} = BM/W_{\text{bot}} = 240000/2083 = 115 \text{ kg/cm}^2$ . (tarikan)

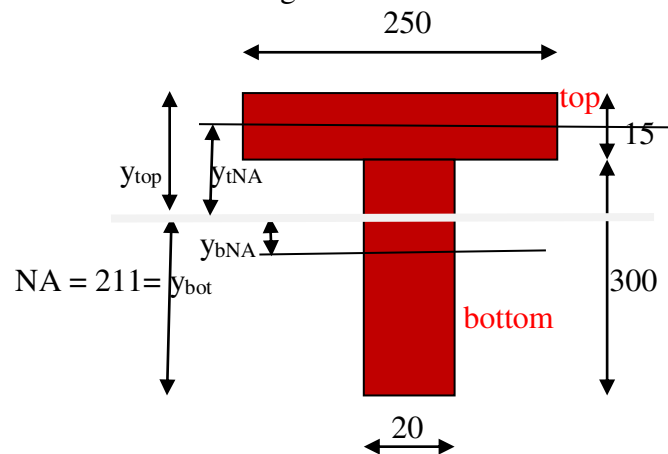
$\sigma_{\text{top}} = BM/W_{\text{top}} = 240000/2083 = 115 \text{ kg/cm}^2$ . (tekanan)

### Contoh 2:

Ukuran balok dan besarnya gaya F seperti pada contoh 1.

Perubahan pada profil penampang dengan bentuk dan ukuran sebagai berikut:

Catatan: Reference line = bottom line



**Neutral Axis,  $NA = \Sigma A_i \cdot y_i / \Sigma A_i$**

$NA = \{ (2 \cdot 30) \cdot 15 \} + \{ (1,5 \cdot 25) \cdot (30 + 0,75) \} / \{ (2 \cdot 30) + (1,5 \cdot 25) \} = 21,1 \text{ cm}$ .

$y_{\text{bot}} = NA = 21,1 \text{ cm}$

$y_{\text{top}} = 30 + 1,5 - NA = 10,40 \text{ cm}$ .

$y_{\text{bNA}} = NA - 30/2 = 21,1 - 15 = 6,1 \text{ cm}$

$y_{\text{tNA}} = 30 + 1,5/2 - NA = 30,75 - 21,1 = 9,65 \text{ cm}$

$A_{\text{b}} = 30 \cdot 2 = 60 \text{ cm}^2$ .

$A_{\text{t}} = 25 \cdot 1,5 = 37,50 \text{ cm}^2$ .

$I_{\text{b}} = 2 \cdot 30^3 / 12 = 4500 \text{ cm}^4$ .

$I_{\text{t}} = 25 \cdot 1,5^3 / 12 = 7,0 \text{ cm}^4$ .

$I_{\text{bNA}} = I_{\text{b}} + 60 \cdot y_{\text{bNA}}^2 = 4500 + (60 \cdot 6,1^2) = 6733 \text{ cm}^4$ .

$I_{\text{tNA}} = I_{\text{t}} + 37,5 \cdot y_{\text{tNA}}^2 = 7 + (37,5 \cdot 9,65^2) = 3499,1 \text{ cm}^4$ .

$I_{\text{total}} = I_{\text{bNA}} + I_{\text{tNA}} = 10232 \text{ cm}^4$ .

$W_{\text{bot}} = I_{\text{tot}}/y_{\text{bot}} = 10232/21,1 = 485 \text{ cm}^3$ .

$$W_{\text{top}} = I_{\text{tot}}/y_{\text{top}} = 10232/10,4 = 984 \text{ cm}^3.$$

$$\sigma_{\text{bot}} = BM/W_{\text{bot}} = 240000/485 = 495 \text{ kg/cm}^2. \text{ (tarikan)}$$

$$\sigma_{\text{top}} = BM/W_{\text{top}} = 240000/984 = 244 \text{ kg/cm}^2. \text{ (tekanan)}$$

### I.3. Perhitungan Modulus Penampang dengan Teorema Sumbu Sejajar.

Momen Inersia terhadap sumbu netral (NA) =

momen inersia terhadap sumbu asumsi yang sejajar dengan sumbu netral –  
momen luas dari setiap penampang terhadap sumbu asumsi.

$$I_{\text{NA}} = I_{\text{base}} - A \cdot NA^2. \text{ atau dalam notasi lainnya: } I_{\text{NA}} = I_n - A \cdot dg^2 \quad (1)$$

dimana:

$$\begin{aligned} I_n &= \text{momen inersia terhadap sumbu asumsi yang sejajar dengan NA} \\ &= \Sigma(i_o + a \cdot dn^2) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} A &= \text{Luas total elemen struktur memanjang} \\ &= \Sigma a \end{aligned}$$

$$a = \text{luas dari tiap penampang struktur memanjang}$$

$$dn = \text{jarak dari tiap titik berat penampang ke sumbu asumsi}$$

$$\begin{aligned} dg &= \text{jarak dari sumbu netral ke sumbu asumsi} \\ &= \Sigma (a \cdot dn) / \Sigma a = \Sigma (a \cdot dn) / A \end{aligned} \quad (3)$$

Umumnya posisi sumbu asumsi terletak pada Base Line (BL), sehingga:

$$y_{\text{bottom}} = dg \text{ dan } y_{\text{top}} = H - dg \quad (4)$$

dimana:

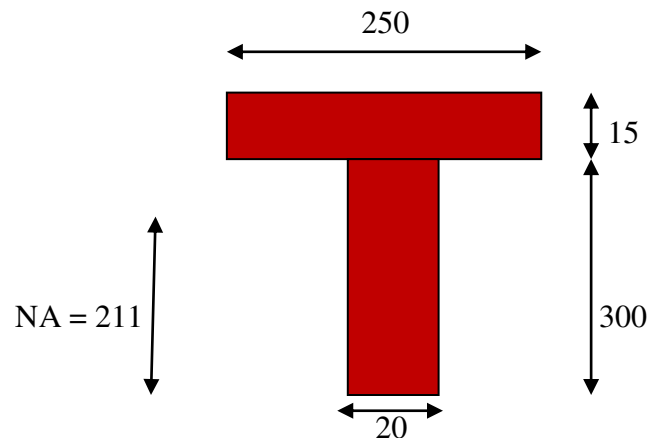
$$H = \text{tinggi geladak kapal}$$

$$\text{Section modulus bottom} \quad W_{\text{bottom}} = I_{\text{NA}}/y_{\text{bottom}}. \quad (5)$$

$$\text{Section modulus top} \quad W_{\text{top}} = I_{\text{NA}}/y_{\text{top}}. \quad (6)$$

#### Contoh 1 (profil gambar sebelumnya)

Sumbu asumsi = baseline



Perhitungan dengan menggunakan teorema sumbu sejajar

Penyelesaian:

No	Section	Dimensi (cm)	a (cm <sup>2</sup> )	dn (cm)	a x dn (cm <sup>3</sup> )	a x dn <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )	io (cm <sup>4</sup> )
1	Bottom	2 x 30	60	15	900	13500	4500
2	Top	25 x 1,5	37,5	30,75	1153	35459	7
		A = $\Sigma a$ =	97,5	$\Sigma a \times dn$ =	2053	48959	4507
				$\Sigma a \times dn^2$ =		$\Sigma io$ =	

dg = jarak dari sumbu netral ke sumbu assumpsi =

$$\Sigma (a \cdot dn) / \Sigma a = \Sigma (a \cdot dn) / A = 2053/97,5 = 21,1 \text{ cm.}$$

Oleh karena sumbu assumpsi terletak pada BL maka NA = dg = 21,1 cm.

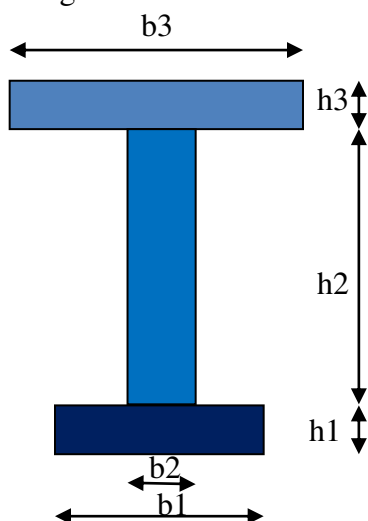
$$\begin{aligned} I_n &= \text{momen inersia terhadap sumbu assumpsi yang sejajar dengan NA} = \Sigma(i_o + a \cdot dn^2) \\ &= 4507 + 48959 = 53466 \text{ cm}^4. \end{aligned}$$

$$\text{Momen inersia terhadap sumbu netral, } I_{NA} = I_n - A \cdot dg^2 = 53466 - (97,5 \times 21,1^2) = 10232 \text{ cm}^4.$$

$$y_{\text{bot}} = NA = 21,1 \text{ cm} \quad H_{\text{total}} = 30 + 1,5 = 31,5 \text{ cm} \quad y_{\text{top}} = H - y_{\text{bot}} = 31,5 - 21,1 = 10,4 \text{ cm}$$

$$W_{\text{bot}} = I_{NA}/y_{\text{bot}} = 10232/21,1 = 486 \text{ cm}^3. \quad W_{\text{top}} = I_{NA}/y_{\text{top}} = 10232/10,4 = 980 \text{ cm}^3.$$

Contoh 2: gambar di bawah ini:



Dimensions

$$\begin{aligned} b1 &= 10 & h1 &= 1 \\ b2 &= 2 & h2 &= 20 \\ b3 &= 20 & h3 &= 1.5 \end{aligned}$$

PR:

$$\begin{aligned} b1 &= 25 & h1 &= 2,5 \\ b2 &= 3 & h2 &= 30 \\ b3 &= 15 & h3 &= 2 \end{aligned}$$

Perhitungan dengan menggunakan teorema sumbu sejajar

No	Section	Dimensi (cm)		a (cm <sup>2</sup> )	dn (cm)	a x dn (cm <sup>3</sup> )	a x dn <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )	io (cm <sup>4</sup> )
		b	h					
1	a	10	1	10	0,5	5	2,5	0,83
2	b	2	20	40	11	440	4840	1333,33
3	c	20	1,5	30	21,75	652,5	14192	5,63
			A = $\Sigma a$ =	80	$\Sigma a \times dn$ =	1097,5	19034	1339,79
					$\Sigma a \times dn^2$ =		$\Sigma io$ =	

$dg$  = jarak dari sumbu netral ke sumbu assumpsi =  $\Sigma (a \cdot dn) / \Sigma a = \Sigma (a \cdot dn) / A = 1097,5/80 = 13,7$  cm.

Oleh karena sumbu assumpsi terletak pada BL maka  $NA = dg = 13,7$  cm.

$I_n$  = momen inersia terhadap sumbu assumpsi yang sejajar dengan NA =  $\Sigma(i_o + a \cdot dn^2)$   
 $= 1339,79 + 19034 = 20374$  cm<sup>4</sup>.

Momen inersia terhadap sumbu netral,  $I_{NA} = I_n - A \cdot dg^2 = 20374 - (80 \times 13,7^2) = 5318$  cm<sup>4</sup>.

$y_{bot} = NA = 13,7$  cm     $H_{total} = 1 + 20 + 1,5 = 22,5$  cm     $y_{top} = H - y_{bot} = 22,5 - 13,7 = 8,8$  cm

$W_{bot} = I_{NA}/y_{bot} = 5318/13,7 = 388$  cm<sup>3</sup>.     $W_{top} = I_{NA}/y_{top} = 5318/8,8 = 606$  cm<sup>3</sup>.



## **BAB II. PEMERIKSAAN TEGANGAN PADA TONGKANG (BARGE)**

### **II.1. Pendahuluan**

Materi pada bagian ini adalah merupakan materi untuk menghitung tegangan pada konfigurasi kapal yang sederhana yaitu tongkang (barge). Materi ini diberikan sebagai pemahaman dasar kepada mahasiswa untuk memahami prinsip terjadinya gaya-gaya geser (Shearing Forces) dan momen lentur (Bending Moments) pada suatu kapal.

Tongkang dibagi untuk beberapa kompartemen melintang dan selanjutnya kompartemen-kompartemen tersebut diisi dengan muatan yang tidak merata. Di lain pihak, pada tongkang tersebut terdapat distribusi gaya apung (Buoyancy) di lambung tongkang. Distribusi buoyancy ini tergantung dari luas penampang dan tinggi sarat pada penampang dimaksud. Ketika terdapat perbedaan tinggi sarat (trim) pada lambung tongkang maka terdapat pula distribusi buoyancy yang tidak merata. Dengan demikian maka ketika terdapat distribusi muatan yang tidak merata maka terjadi beban (**load**) pada tongkang. Beban (load) pada tongkang ini selanjutnya mengakibatkan adanya gaya geser (Shearing Forces / SF) dan momen lentur (Bending Moment / BM) pada tongkang tersebut.

Pada bagian ini juga diberikan penjelasan tentang perhitungan momen inersia ( $I$ ) dan modulus dari penampang ( $W$  atau  $SM$ ) melintang suatu tongkang. Perhitungan kedua komponen ini dilakukan berdasarkan prinsip perhitungan Theorema Sumbu Sejajar. Dalam perhitungan ini juga ditentukan letak sumbu netral (Neutral Axis) yang selanjutnya dapat ditentukan tegangan-tegangan yang bekerja pada dasar kapal (bottom,  $\sigma_{\text{bottom}}$ ) dan geladak (dek,  $\sigma_{\text{deck}}$ ).

### **II.2. Contoh Perhitungan**

Berikut ini diberikan contoh tentang perhitungan Shearing Force dan Bending Moment pada sebuah Tongkang. Dimensi dari tongkang diberikan pada contoh ini. Juga struktur elemen penampang melintang tongkang tersebut ditampilkan pada gambar. Perhitungan tegangan yang terjadi pada bottom dan deck tongkang diberikan pada contoh tersebut.

DATA		
L	100	m
B	20	m
T	6,275	m
H	9	m
Density	1	t/m <sup>3</sup>
Own weight	15	t/m
Lcompt 1	25	m
Lcompt 2	25	m
Lcompt 3	25	m
Lcompt 4	25	m

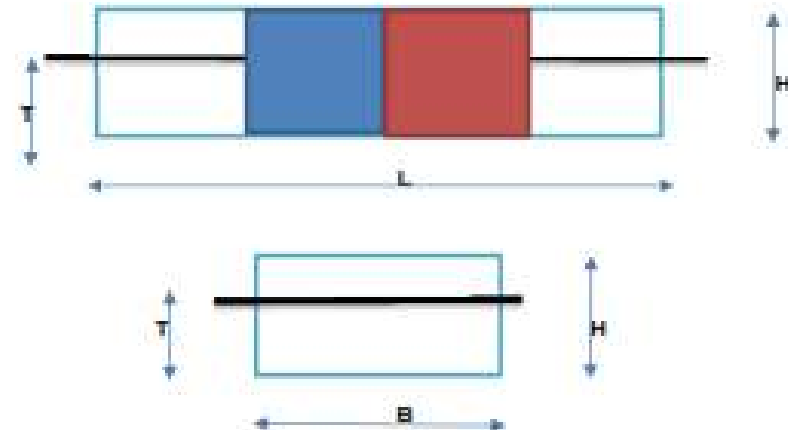
Buoyancy = 12550 t

tot Own Wt=	1500	t
Loads 1 =	0	t/m
Loads 2 =	215	t/m
Loads 3 =	215	t/m
Loads 4 =	0	t/m
Total Loads =	12550	t

DRAFTS		
Tfore	6,275	m
Taft	6,275	m

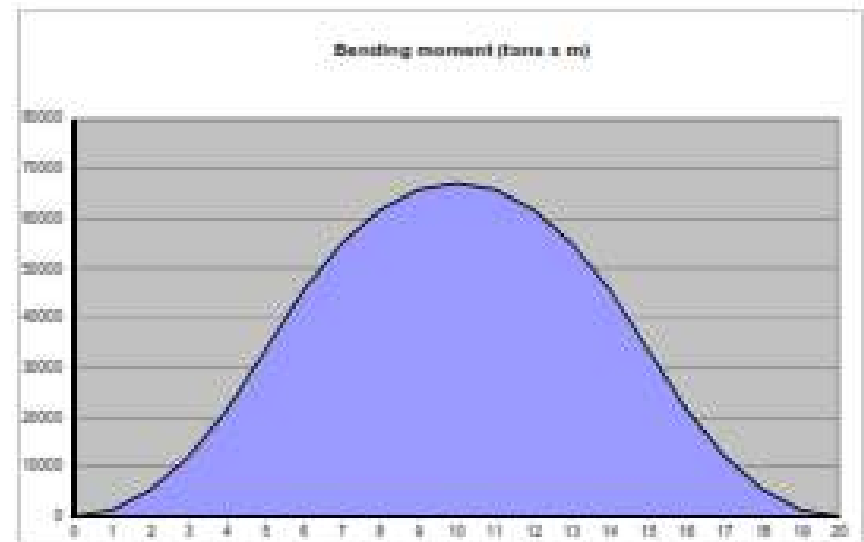
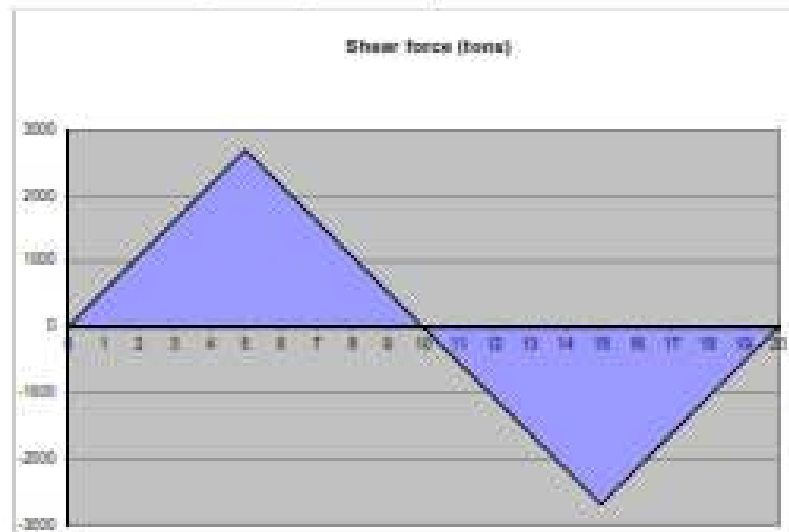
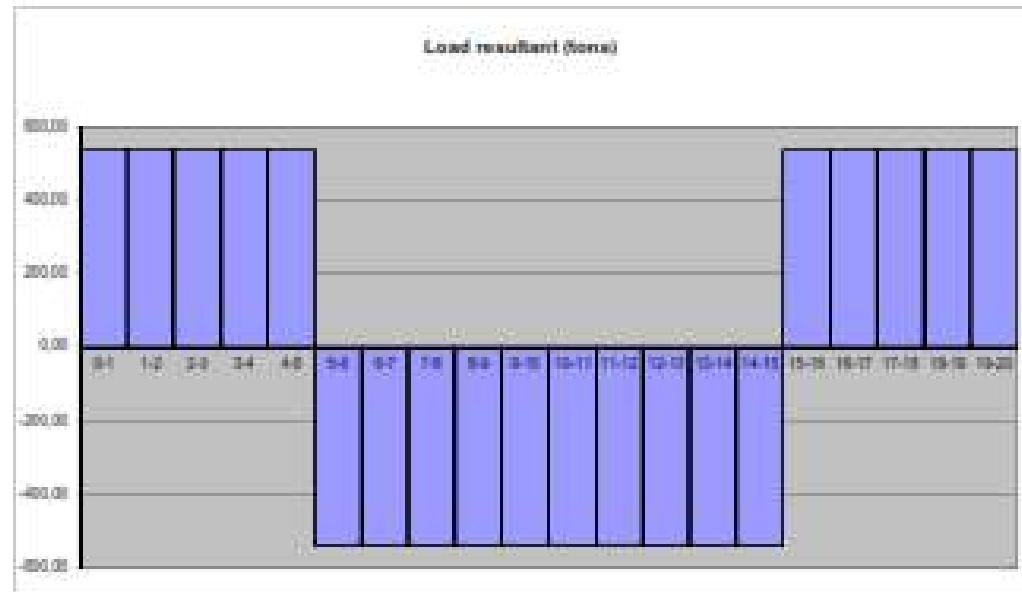
EQUILIBRIUM CHECK		
Vert equil	0,0	
Rot equil	0,0	

NOTES		
Mean draft	6,275	m
Trim	0,000	degree



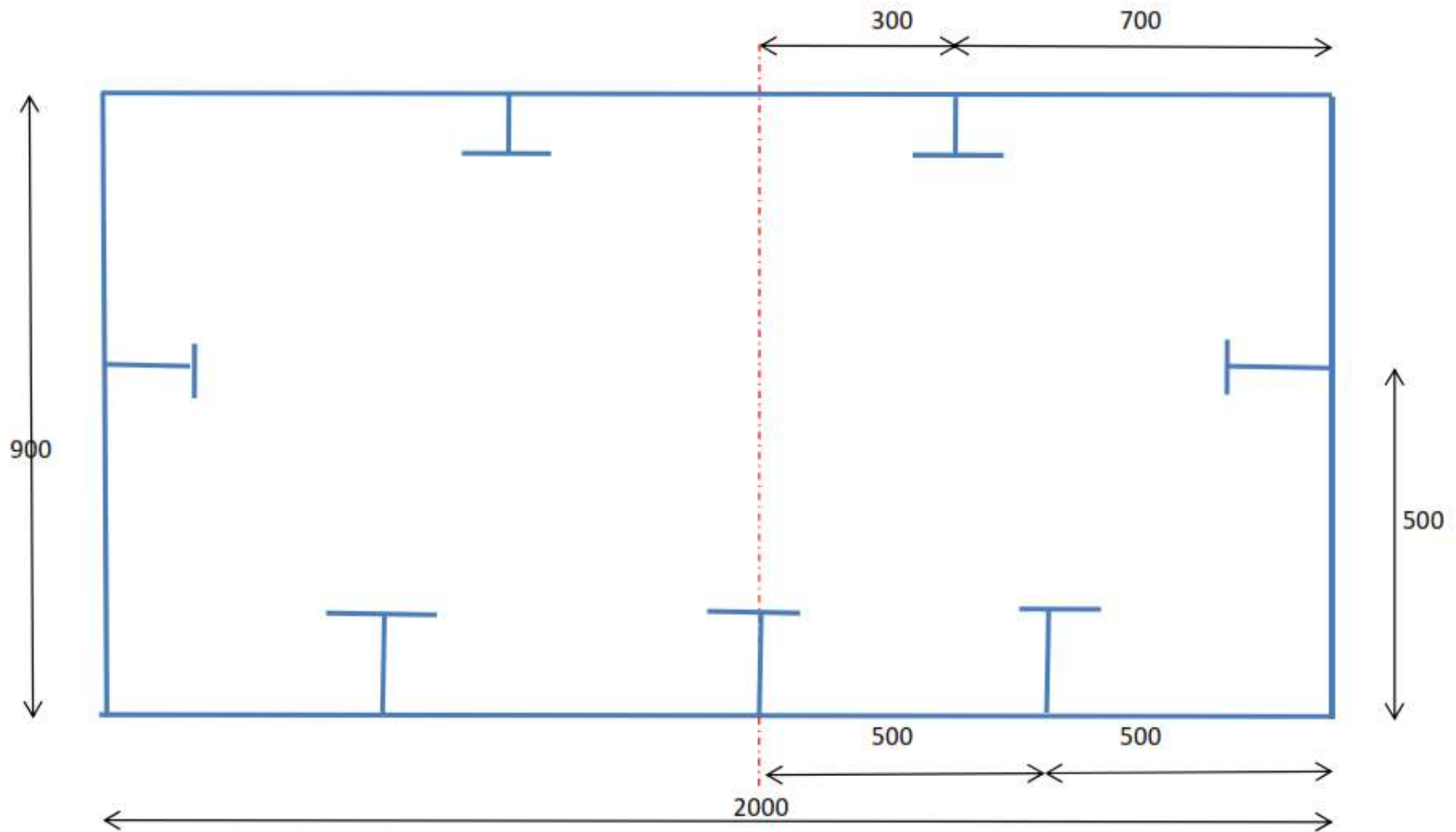
	Sections	Center x	Length	Draft	Sec Area	Buoyancy	Buoy momnt	Own wgt	Other wgt	Loads	Tot wgt	Wgt momnt	Load result
		(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(t)	(t*m)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t*m)	(t)
1	0-1	2,5	5	6,275	125,50	627,50	1565,75	90,00	0,00	0,00	90,00	225,00	537,50
2	1-2	7,5	5	6,275	125,50	627,50	4706,25	90,00	0,00	0,00	90,00	675,00	537,50
3	2-3	12,5	5	6,275	125,50	627,50	7843,75	90,00	0,00	0,00	90,00	1125,00	537,50
4	3-4	17,5	5	6,275	125,50	627,50	10981,25	90,00	0,00	0,00	90,00	1575,00	537,50
5	4-5	22,5	5	6,275	125,50	627,50	14118,75	90,00	0,00	0,00	90,00	2025,00	537,50
6	5-6	27,5	5	6,275	125,50	627,50	17256,25	90,00	0,00	1075,00	1165,00	32037,50	-537,50
7	6-7	32,5	5	6,275	125,50	627,50	20393,75	90,00	0,00	1075,00	1165,00	37662,50	-537,50
8	7-8	37,5	5	6,275	125,50	627,50	23531,25	90,00	0,00	1075,00	1165,00	43687,50	-537,50
9	8-9	42,5	5	6,275	125,50	627,50	26668,75	90,00	0,00	1075,00	1165,00	49512,50	-537,50
10	9-10	47,5	5	6,275	125,50	627,50	29806,25	90,00	0,00	1075,00	1165,00	55337,50	-537,50
11	10-11	52,5	5	6,275	125,50	627,50	32943,75	90,00	0,00	1075,00	1165,00	61162,50	-537,50
12	11-12	57,5	5	6,275	125,50	627,50	36081,25	90,00	0,00	1075,00	1165,00	66987,50	-537,50
13	12-13	62,5	5	6,275	125,50	627,50	39218,75	90,00	0,00	1075,00	1165,00	72812,50	-537,50
14	13-14	67,5	5	6,275	125,50	627,50	42356,25	90,00	0,00	1075,00	1165,00	78637,50	-537,50
15	14-15	72,5	5	6,275	125,50	627,50	45493,75	90,00	0,00	1075,00	1165,00	84462,50	-537,50
16	15-16	77,5	5	6,275	125,50	627,50	48631,25	90,00	0,00	0,00	90,00	6975,00	537,50
17	16-17	82,5	5	6,275	125,50	627,50	51768,75	90,00	0,00	0,00	90,00	7425,00	537,50
18	17-18	87,5	5	6,275	125,50	627,50	54906,25	90,00	0,00	0,00	90,00	7875,00	537,50
19	18-19	92,5	5	6,275	125,50	627,50	58043,75	90,00	0,00	0,00	90,00	8325,00	537,50
20	19-20	97,5	5	6,275	125,50	627,50	61181,25	90,00	0,00	0,00	90,00	8775,00	537,50
	SUM =		100			12550,00	627500,00	1800,00	0,00	10750	12550,00	627500,00	0,00

Frame	Sec. x	SF	BM
	(m)	(t)	(t*m)
0	0	0	0
1	5	538	1344
2	10	1075	5375
3	15	1613	12094
4	20	2150	21500
5	25	2688	33594
6	30	2150	45688
7	35	1613	55094
8	40	1075	61813
9	45	538	65544
10	50	0	67188
11	55	-538	65544
12	60	-1075	61813
13	65	-1613	55094
14	70	-2150	45688
15	75	-2688	33594
16	80	-2150	21500
17	85	-1613	12094
18	90	-1075	5375
19	95	-538	1344
20	100	0	0



**Computation Based on Paralel Axis Theorem**  
**Cross-Section of Barge**

Dimensions in cm



# Dimensions in Cm

Elements	b	h
Bottom plate	2000	3
Side Plate	2	900
Deck Plate	2000	1,5
Distance Side girder fr BL		500

Elements	b	h
C. Bottom Girder PL	2	75
C. Bottom Girder FP	30	2
Side Girder PL	25	1
Side Girder FP	1	10
Deck Girder PL	1	40
Deck Girder FP	25	1,5

Elements	b	h
S. Bottom Girder PL	2	75
S. Bottom Girder FP	30	1,5

**Note: Reference Axis = Base Line**  
**Computation in Half Section**

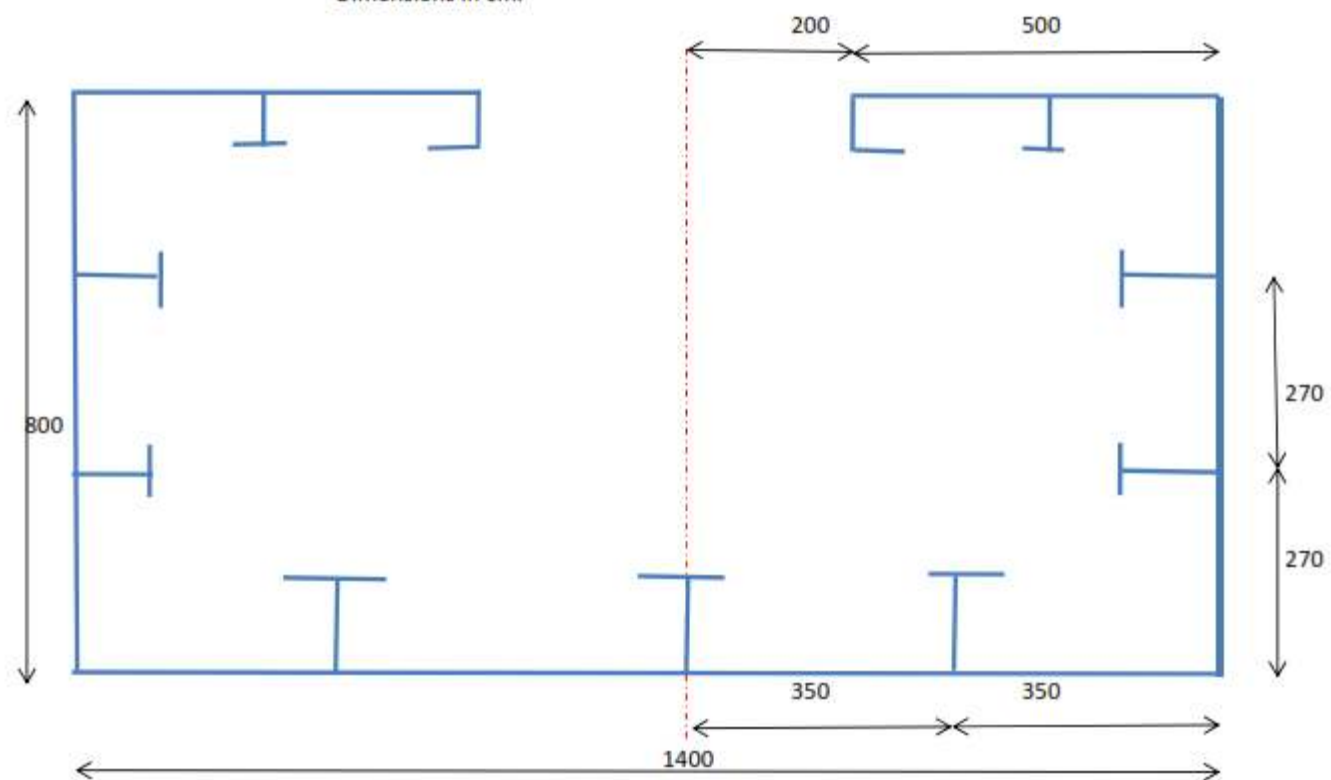
Elements	Dimension in cm		a (cm2)	dn (cm)	a x dn (cm3)	a x dn2 (cm4)	io (cm4)
	b	h					
Bottom Plate	1000	3	3000	-1,5	-4500	6750	2250,0
Side Plate	2	900	1800	450	810000	364500000	121500000,0
Deck Plate	1000	1,5	1500	900,75	1351125	1217025844	281,3
C. Bottom Girder PL	1	75	75	37,5	2812,5	105468,75	35156,3
C. Bottom Girder FP	15	2	30	76	2280	173280	10,0
S. Bottom Girder PL	2	75	150	37,5	5625	210937,5	70312,5
S. Bottom Girder FP	30	1,5	45	75,75	3408,75	258212,813	8,4
Side Girder PL	25	1	25	500	12500	6250000	2,1
Side Girder FP	1	10	10	500	5000	2500000	83,3
Deck Girder PL	1	40	40	880	35200	30976000	5333,3
Deck Girder FP	25	1,5	37,5	859,25	32221,875	27686646,1	7,0

$$A = \sum a = 13425 \quad \sum a \times dn = 4511346,25 \quad \sum a \times dn^2 = 3299386278 \quad \sum io = 243226888,4$$

$$\begin{aligned} dg = NA &= 336,0 \text{ cm} & I_n &= 3542613166 \text{ cm}^4 \\ INA = I_n - A \cdot dg^2 &= 2026617264 \text{ cm}^4 & H &= h_1 + h_2 = 901,5 \text{ cm} & y_{top} &= H - NA = 565,5 \text{ cm} \\ y_{bot} = NA &= 339,0 \text{ cm} & W_{top} &= 3584020 \text{ cm}^3 \\ W_{bot} &= 5977505 \text{ cm}^3 \\ BM_{mx} &= 67188 \text{ t.m} = 6718800000 \text{ kg.cm} \\ \sigma_{bot} &= 1124 \text{ kg/cm}^2 & \sigma_{top} &= 1875 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

**Homework:**

Dimensions in cm;



Dimensions in Cm

Elements	b	h
Bottom plate	1400	2,5
Side Plate	2	800
Deck Plate	500	2
Distance Side girder lwr fr BL		270
Distance Side girder upr fr BL		540

Elements	b	h
C. Bottom Girder PL	2	70
C. Bottom Girder FP	30	2,5
Side Girder PL	35	2
Side Girder FP	1,5	20
Deck Girder PL	2	40
Deck Girder FP	15	2

Elements	b	h
S. Bottom Girder PL	2	70
S. Bottom Girder FP	30	2
H. Coaming Girder PL	3	40
H. Coaming Girder FP	15	2

Dimensions in Cm

Elements	b	h
Bottom plate	1400	2,5
Side Plate	2	800
Deck Plate	500	2
Distance Side girder lwr fr BL		270
Distance Side girder upr fr BL		540

Elements	b	h
C. Bottom Girder PL	2	70
C. Bottom Girder FP	30	2,5
Side Girder PL	35	2
Side Girder FP	1,5	20
Deck Girder PL	2	40
Deck Girder FP	15	2

Elements	b	h
S. Bottom Girder PL	2	70
S. Bottom Girder FP	30	2
H. Coaming Girder PL	3	40
H. Coaming Girder FP	15	2

Elements	Dimension in cm						
	b	h	a (cm2)	dn (cm)	a x dn (cm3)	a x dn2 (cm4)	io (cm4)
Bottom Plate	700	2,5					
Side Plate	2	800					
Deck Pate	500	2	1750	-1,25	-2187,5	2734,375	911,5
C. Bottom Girder PL	1	70	1600	400	640000	256000000	85333333,3
C. Bottom Girder FP	15	2,5	1000	801	801000	641601000	333,3
S. Bottom Girder PL	2	70	70	35	2450	85750	28583,3
S. Bottom Girder FP	30	2	37,5	71,25	2671,875	190371,094	19,5
Side Girder PL Lw	35	2	140	35	4900	171500	57166,7
Side Girder FP Lw	1,5	20	60	71	4260	302460	20,0
Side Girder PL Lw	35	2	70	540	37800	20412000	23,3
Side Girder FP Lw	1,5	20	30	540	16200	8748000	1000,0
Deck Girder PL	2	40	70	810	56700	45927000	23,3
Deck Girder FP	15	2	30	810	24300	19683000	1000,0
H Coaming Pl	3	40	80	780	62400	48672000	10666,7
H Coaming FP	15	2	30	759	22770	17282430	10,0
			120	780	93600	73008000	16000,0
A = $\Sigma a =$			30	759	22770	17282430	10,0

dg = NA =	349,7 cm	10235	$\Sigma a \times dn =$	3579268,75	2298737351	170898202,0
INA = $I_n - A \cdot dg^2 =$				$\Sigma a \times dn^2 =$	$\Sigma io =$	
ybot = NA =	352,2 cm		$I_n =$	2469635553 cm4		
Wbot =	3457990 cm3	1217934060	cm4			
			H=h1+h2	802	ytop = H - NA	452,3 cm
			Wtop =	2692809	cm3	



Homework: → See Excel file:

Contoh 3:

Untuk dikerjakan di kelas:

Mahasiswa mampu merancang konstruksi badan kapal termasuk konstruksi bagian haluan dan buritan dan stern tube dan semua bangunan atas dan rumah geladak sesuai dengan peraturan SOLAS 1974, biro klasifikasi dan peraturan lain yang berlaku,

Menghitung konstruksi alas, penguatan alas depan, penguatan di Kamar Mesin, konstruksi alas di ceruk dan stern tube, konstruksi sisi, penguatan depan, penguatan di Kamar Mesin, konstruksi di ceruk. Hitung gading/pelintang untuk 20 station, konstruksi linggi haluan dan buritan, konstruksi sekat melintang dan memanjang, konstruksi geladak utama, geladak antara (kalau ada) dan platform Kamar Mesin (kalau ada). Hitung balok geladak/pelintang untuk 20 station, konstruksi bangunan atas termasuk engine casing, konstruksi semua rumah geladak,

### **PERTEMUAN KE III**

## BAB III. PENJELASAN UMUM TENTANG STRUKTUR KAPAL

### III.1. Aspek Khusus Struktur Kapal

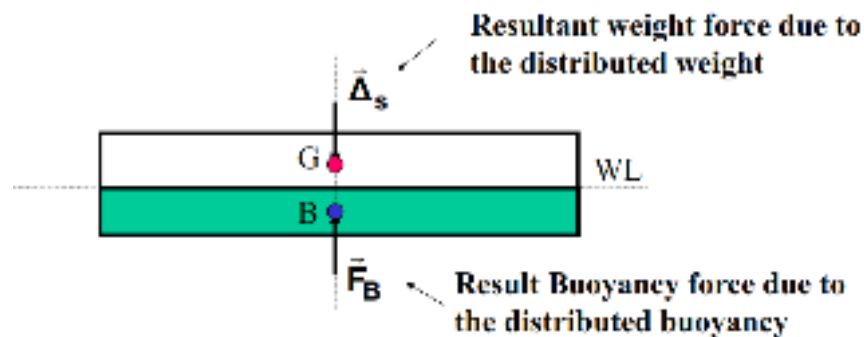
Dibandingkan dengan berbagai konstruksi engineering lainnya maka kapal memiliki struktur yang unik. Struktur unik tersebut berasal dari berbagai aspek berikut ini:

1. Kapal mempunyai ukuran yang besar (bervariasi dari ukuran kecil sampai sangat besar).
2. Kapal mempunyai bentuk tiga dimensi yang sangat kompleks (rumit)
3. Kapal mempunyai tumpuan untuk berbagai beban dari berbagai elemen struktur serta kulit lambung.
4. Kapal mengalami berbagai variasi beban-beban dynamic dan beban-beban random (acak) ketika sedang beroperasi
5. Kapal beroperasi dalam berbagai lingkungan laut (environments).

Dengan demikian maka dalam proses desain kapal maka struktur kapal harus didesain untuk memenuhi berbagai kondisi beban yang bekerja padanya, baik beban internal maupun beban external yang berasal dari luar kapal.

### III.2 Beban Struktur Kapal

Terdapat berbagai type beban (load) yang bekerja pada kapal. Berikut ini penjelasan tentang type beban standart pada kapal, yaitu gaya-gaya terdistribusi (distributed forces). Gaya-gaya ini terdiri dari distribusi gaya berat (weight) dan distribusi gaya apung (buoyancy) ( Gambar 3.1). Distribusi dari masing-masing kedua gaya ini menghasilkan masing-masing resultan gaya berat sesuai distribusi berat dan resultan gaya buoyancy sesuai dengan distribusi gaya buoyancy.



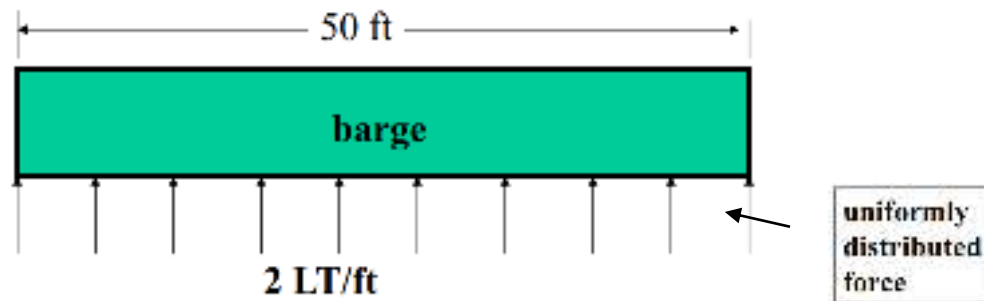
Gambar 3.1. Distributed Forces

Ketika kapal berada dalam kondisi kesetimbangan statis maka:

- Nilai (besaran) dari kedua gaya tersebut adalah sama
- Titik berat dari kedua gaya tersebut berada pada suatu garis vertikal

### A. Gaya Distribusi Buoyancy

Gaya-gaya buoyancy dapat dipandang sebagai gaya distribusi (distributed force) (Gambar 3.2).



Gambar 3.2

Gaya distribusi 2 LT/ft dapat digantikan dengan gaya tunggal:

$$\text{Resultant buoyancy: } F_B = 2 \text{ LT/ft} \times 50 \text{ ft} = 100 \text{ LT.}$$

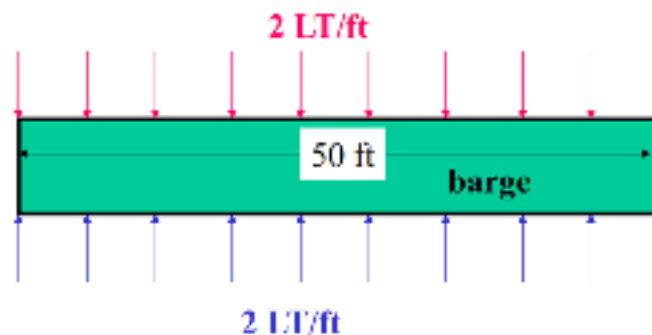
Note: 1 LT = 1016 kg dan 1 ft = 0,3048 m

### B. Gaya Distribusi Berat

Berat kapal dapat dinyatakan sebagai gaya distribusi baik distribusi merata (uniformly distributed weight) maupun distribusi tidak merata (non-uniformly distributed weight).

#### B.1. Uniformly distributed weight.

Contoh berikut ini adalah uniformly distributed weight



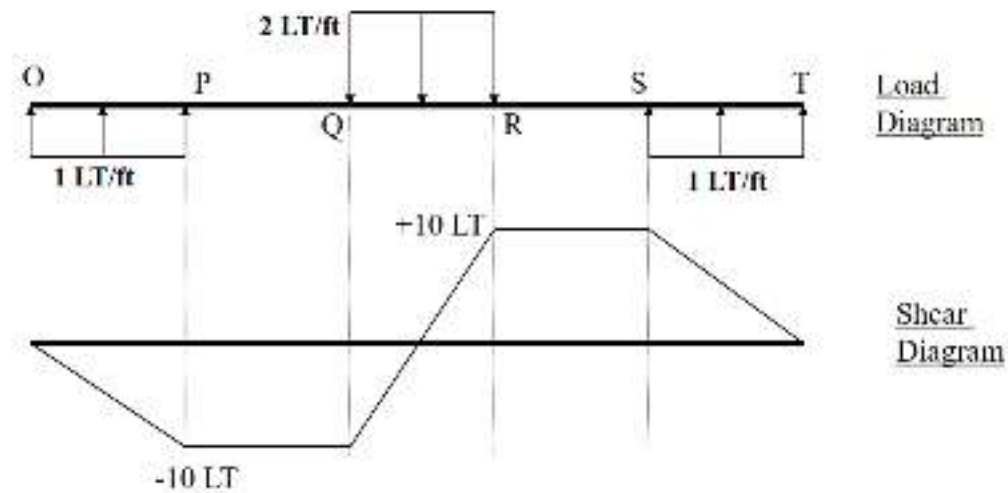
Gambar 3.3

$$\text{Resultant weight: } \Delta_S = 2 \text{ LT/ft} \times 50 \text{ ft} = 100 \text{ LT} = F_B \rightarrow \text{weight} = \text{buoyancy}$$

#### B.2. Non-Uniformly distributed weight.

Contoh berikut ini adalah non-uniformly distributed weight



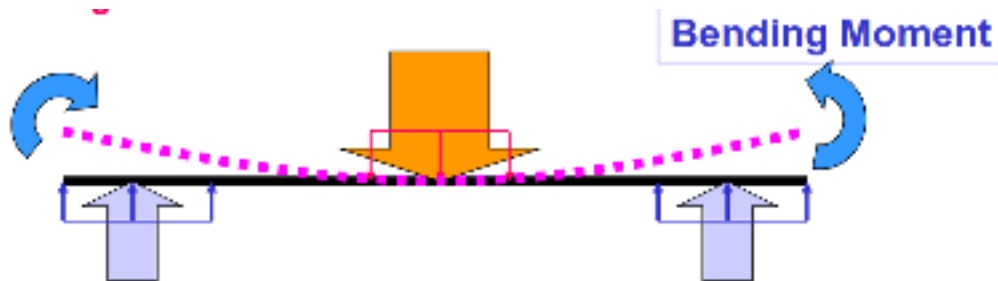


Gambar 3.5. Penjelasan Tentang Gaya Geser

Tegangan geser maximum terjadi dimana diagram beban memotong sumbu x (atau  $= 0$ ).

#### D. Tegangan Lenturan Memanjang (Longitudinal Bending Stress)

Distribusi beban (load) yang tidak merata akan menghasilkan momen lentur memanjang (longitudinal Bending Moment). Contoh sederhana adalah sebuah balok yang ditumpu pada ujung-ujungnya dan dibebani gaya di tengah (Gambar 3.6).



Gambar 3.6. Konsep Dasar Momen Lentur Memanjang

Dalam kasus ini:

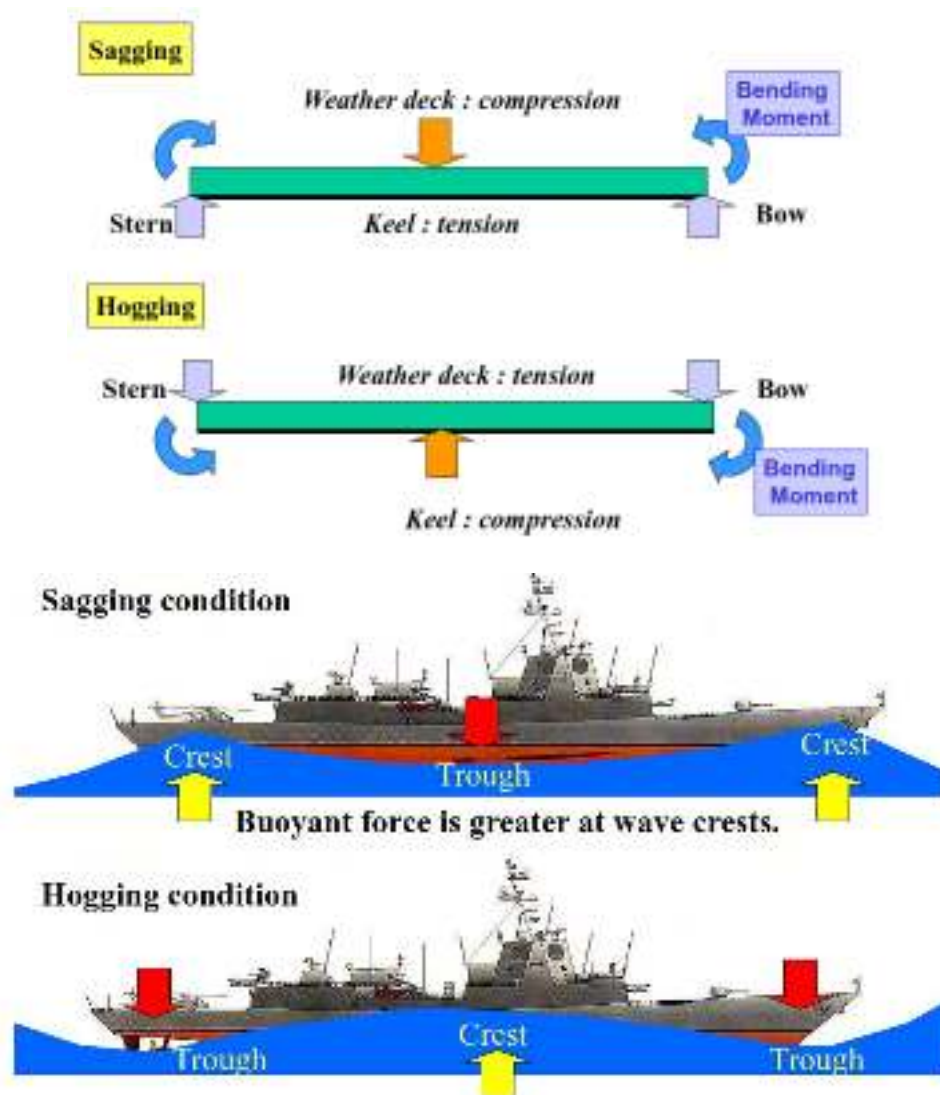
- Gaya buoyancy terkonsentrasi pada bagian haluan dan buritan
- Gaya berat terkonsentrasi pada bagian tengah kapal

Momen lentur memanjang akan menghasilkan tegangan yang signifikan pada struktur yang dinamakan tegangan lentur (bending stress).

Berikut ini merupakan prinsip dasar terjadinya suatu momen lentur memanjang pada kapal:

- Suatu kapal mempunyai momen lenturn yang sama tetapi buoyancy dan berbagai beban (loads) terdistribusi sepanjang seluruh kapal dari pada hanya satu titik (point).
- Gaya-gaya ke atas adalah merupakan gaya apung (buoyancy) sedangkan gaya-gaya ke bawah adalah merupakan gaya berat
- Kebanyakan gaya berat dan buoyancy terkonsentrasi di tengah kapal dimana di tengah kapal merupakan volume yang terbesar.

Berikut ini diperlihatkan prinsip dasar proses terjadinya Sagging dan Hogging pada suatu kapal (Gambar 3.7).



Gambar 3.7. Proses Terjadinya Hogging dan Sagging pada Kapal

### E. Pengukuran Tegangan Lentur

Momen lentur memanjang (longitudinal bending moment) menghasilkan tegangan struktur yang signifikan yang dinamakan tegangan lentur (bending stress). Tegangan lentur dapat ditentukan melalui persamaan berikut ini:

$$\sigma = (M \times y) / I$$

dimana: **M = Momen Lentur (Bending Moment)**

**I = Momen Inersia Penampang atau 2<sup>nd</sup> moment of area of the cross-section**

**y = jarak vertikal dari sumbu netral (Neutral Axis)**

**$\sigma$  = tegangan tarik (tensile, +) atau tekan (compressive, -)**

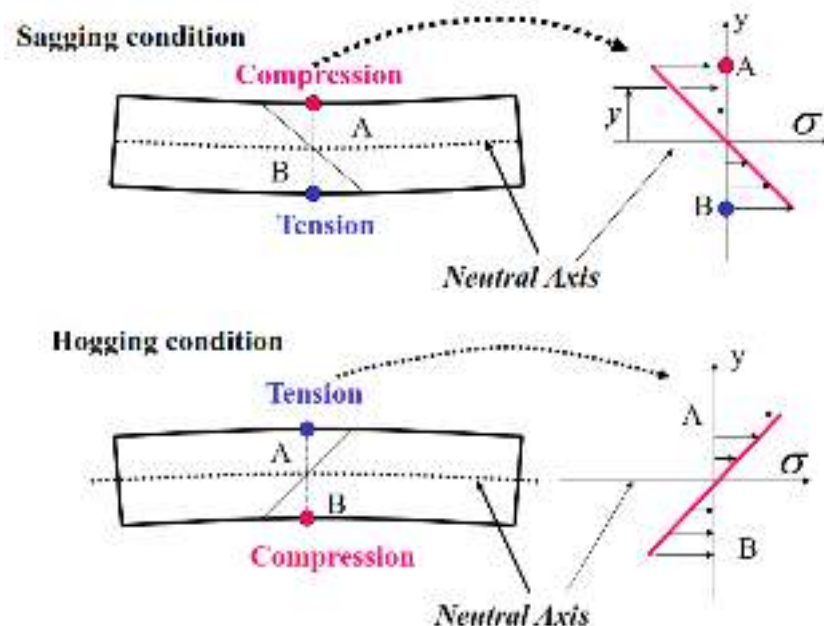
Juga dalam perhitungan ini nilai I dan y dapat digantikan dengan modulus penampang (Section Modulus, SM atau W). Dimana modulus penampang diperoleh dari:

$$W = SM = I/y$$

Sehingga tegangan lentur diperoleh:

$$\sigma = M / W$$

Tegangan yang terjadi pada deck dan bottom (keel) dapat dijelaskan seperti terlihat pada Gambar 3.8 berikut ini.

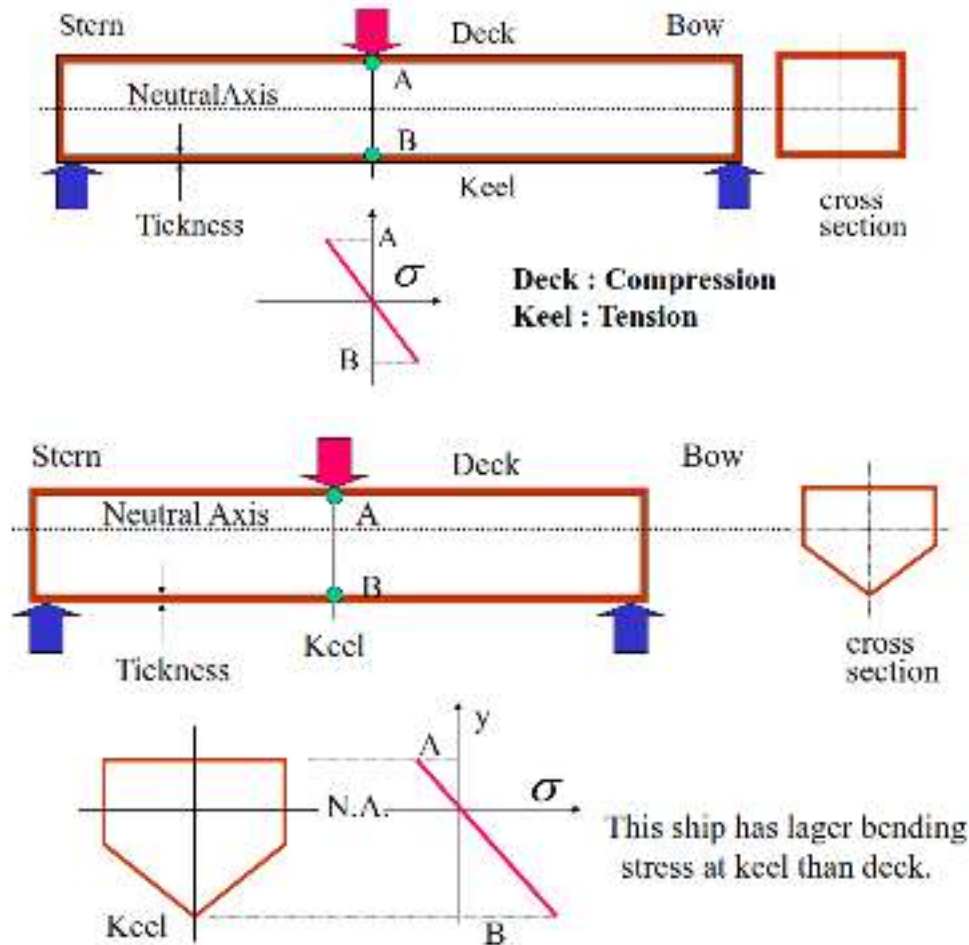


Gambar 3.8. Tegangan Lentur pada Deck dan Keel (Bottom)

**Sumbu Netral (Neutral Axis)** adalah pusat geometri dari penampang melintang atau transisi antara tegangan tekan dan tarik.

## F. Contoh: Tegangan Lentur Pada Lambung Kapal

Gambar 3.9 berikut ini memperlihatkan distribusi tegangan lentur yang terjadi pada suatu penampang melintang lambung kapal.



Gambar 3.9. Contoh Distribusi Tegangan Pada Penampang Melintang Kapal

Beberapa aspek penting yang dapat disimpulkan pada lenturan memanjang kapal:

1. Pada kapal biasanya terjadi kondisi sagging meskipun pada kondisi air tenang. Hal ini umumnya disebabkan oleh adanya pemuatan yang besar pada tengah kapal.
2. Umumnya momen lentur terbesar terjadi di bagian tengah kapal (midship area)

Pada Gambar 3.9. terlihat distribusi tegangan lentur sepanjang penampang melintang kapal. Dapat disimpulkan beberapa point berikut ini:

- Untuk penampang melintang kapal yang berbentuk kotak (simetris menurut sumbu y), maka sumbu netral terletak di tengah penampang. Oleh sebab itu sumbu netral terletak di



bagian tengah. Dengan demikian maka distribusi tegangan lentur pada deck (compression) dan keel (tension) adalah simetris terhadap sumbu netral NA.

- Untuk penampang melintang kapal yang berbentuk hard chine (gambar bawah) maka sumbu netral terletak di atas dari tengah penampang (mendekati deck). Dalam hal ini, luas penampang cenderung pada bagian deck. Dengan demikian maka distribusi tegangan lentur pada deck (compression) adalah lebih kecil sedangkan pada keel (tension) adalah lebih besar.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa:

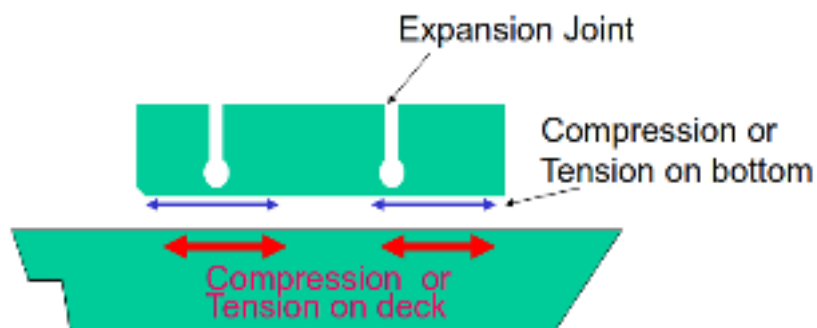
- Momen lentur terbesar terdapat pada tengah kapal
- Kapal akan mengalami tegangan-tegangan lentur terbesar pada deck dan keel

### G. Interaksi Struktur Lambung Kapal

Tegangan lentur pada bangunan atas (superstructure) adalah besar sebab jaraknya yang besar dari sumbu netral. Pada kondisi-kondisi hogging dan sagging, terjadi tegangan-tegangan geser (shear stress) yang fatal antara geladak lambung dan dasar bangunan atas.

Tegangan-tegangan geser ini akan menyebabkan keretakan pada daerah sudut-sudut yang tajam yaitu daerah koneksi (hubungan) antara lambung dan bangunan atas.

Tegangan ini dapat dikurangi dengan menggunakan sambungan ekspansi / engsel ekspansi (expansion joint) (Gambar 3.10).



Gambar 3.10. Expansion Joint pada Superstructure

Dengan menggunakan expansion joint maka super structure diijinkan untuk melentur (flexibel) sesuai dengan lambung kapal.

### III.2. Beban-Beban Lainnya.

Beban-beban lainnya yang bekerja pada kapal terdiri atas: beban-beban hidrostatik (hydrostatic loads), beban-beban torsi (torsional loads) dan beban-beban dari peralatan senjata (weapon loads).

Beban hidrostatik berkaitan dengan tekanan hidrostatik (hydrostatic pressure) yang bekerja di sepanjang lambung kapal. Beban-beban hidrostatik yang berpengaruh di kapal terutama pada kapal-kapal selam (submarines). Besarnya tekanan hidrostatik:

$$P_{\text{hydrostatics}} = \rho g h$$

Dimana  $\rho$  = massa jenis fluida

$g$  = konstanta gravitasi

$h$  = jarak dari permukaan fluida terhadap titik tekanan yang dituju

Beban torsional di kapal terkadang tidak terlalu signifikan.

Beban-beban torsional ini mempunyai efek pada kapal-kapal dengan bukaan-bukaan (openings) di geladak cuaca (misalnya pada kapal-kapal riset).

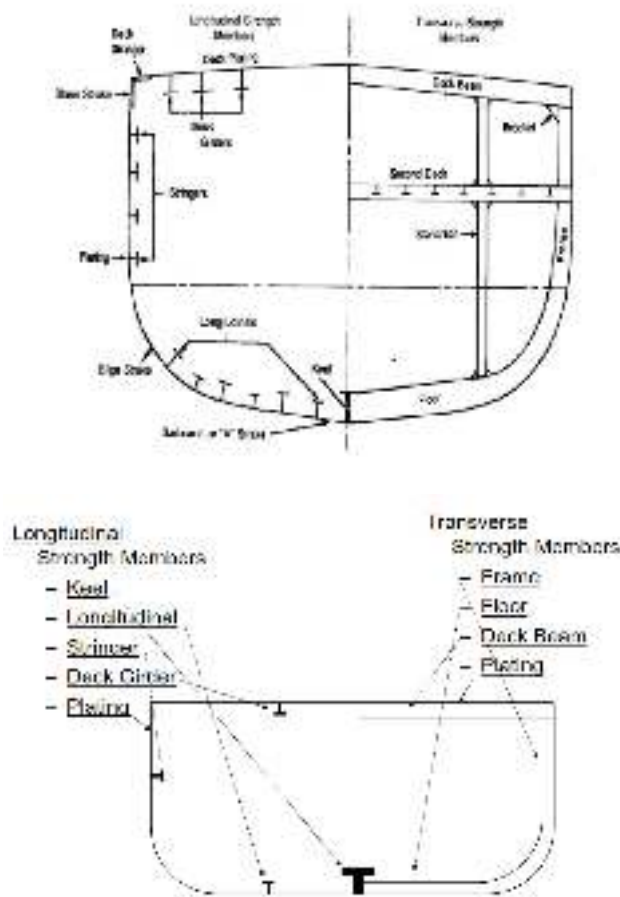
Beban-beban dari peralatan persenjataan (weapon loads) berasal dari ledakan peralatan persenjataan atau dampak guncangan di atas kapal maupun di bawah air. Kapal-kapal perang (naval vessels) harus didesain untuk tahan dari gaya-gaya tersebut. Kapal-kapal perang akan seringkali mengalami sejumlah percobaan guncangan (shock trials) selama uji coba awal.

### III.3. Struktur Kapal

#### A. Komponen Struktur

Komponen struktur kapal terdiri dari sejumlah elemen yang saling berkaitan satu sama lainnya (Gambar 3.11). Elemen struktur tersebut tersusun secara memanjang dan melintang dan membentuk struktur lambung kapal dalam bentuk 3-D. Secara umum, suatu struktur kapal terdiri dari beberapa elemen serta uraiannya sebagai berikut:

- **Girder (penumpu)** : Girder merupakan struktur dengan kekuatan tinggi yang tersusun secara memanjang
- **Keel (lunas)**: Lunas merupakan penumpu bidang tengah kapal yang besar. Lunas tersusun secara memanjang sepanjang dasar (bottom) kapal
- **Plating (pelat)**: Pelat merupakan elemen-elemen tipis yang menutup bagian bawah, samping dan atas dari struktur. Pelat berkontribusi secara signifikan terhadap kekuatan memanjang kapal. Juga pelat menahan beban tekanan hidrostatik (atau tumbukan dari samping).
- **Frame (gading)** : Gading merupakan struktur elemen melintang yang terletak dari lunas sampai ke geladak. Gading berfungsi untuk menahan tekanan hidrostatik, ombak, tumbukan, dll.
- **Floor (wrang)** : Wrang merupakan gading besar (web frame) yang terletak dari lunas ke lengkungan bilga. Gading-gading dapat dihubungkan dengan floor (atau dapat dikatakan bahwa gading merupakan bagian atas dari floor).
- **Longitudinal (penumpu memanjang)** : Longitudinal merupakan penumpu-penumpu (girders) yang terletak sejajar dengan lunas sepanjang dasar kapal. Longitudinal memotong (intersect) floor pada sudut-sudut tegak. Juga longitudinal berkontribusi terhadap kekuatan memanjang kapal.
- **Stringers (penumpu samping)** : Stringers merupakan penumpu yang terletak di sepanjang sisi kapal. Umumnya stringer berukuran lebih kecil dari longitudinal. Stringer berkontribusi untuk kekuatan memanjang kapal.
- **Deck beam (balok geladak)** : Deck beam merupakan elemen melintang dari deck frame.
- **Deck girder (penumpu memanjang kapal)** : Deck girder merupakan elemen memanjang dari deck frame atau deck longitudinal.



Gambar 3.11. Komponen struktur kapal

## B. Sistim Gading (Framing System).

Kekuatan suatu kapal dapat ditingkatkan dengan cara:

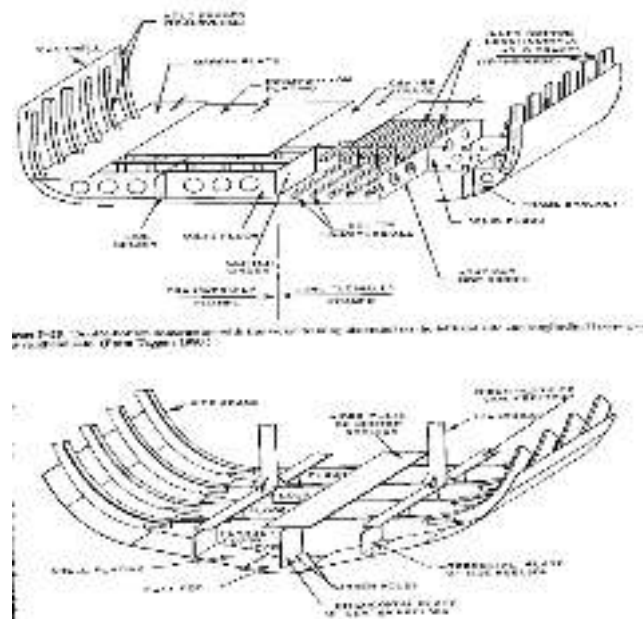
- Menambah elemen-elemen gading lebih padat (jarak gading kecil)
- Meningkatkan ketebalan pelat dan ketebalan komponen-komponen struktur

Akan tetapi cara ini akan meningkatkan biaya, mengurangi penggunaan ruangan dan dapat mengurangi penambahan peralatan terkait dengan fungsi kapal. Oleh sebab itu perlu adanya optimasi tentang sistim gading memanjang, sistim gading melintang dan sistim gading kombinasi (Gambar 3.12).

### B.1. Sistim Gading Memanjang

Pada sistim gading memanjang:

- Longitudinal terpasang secara menyeluruh tetapi dengan jarak yang dekat.
- Gading-gading dipasang agak melebar
- Elemen struktur yang termasuk dalam sistim gading memanjang ialah: Keel, longitudinals, stringers, deck girders dan pelat.



Gambar 3.12. Sistim Gading Pada Kapal

Peranan utama dari elemen-elemen memanjang (longitudinal members) adalah menahan tegangan-tegangan lenturan memanjang akibat kondisi hogging dan sagging. Ciri umum panjang gelombang samudera adalah 300 ft. Untuk kapal-kapal dengan panjang seperti ini akan mengalami tegangan-tegangan lenturan memanjang yang signifikan. Untuk kapal-kapal dengan panjang lebih dari 300 ft cenderung untuk mempunyai lebih besar jumlah elemen memanjang dari pada elemen-elemen melintang.

## B.2. Sistim Gading Melintang

Pada sistim gading melintang:

- Longitudinals ditempatkan agak melebar tetapi agak tinggi
- Frames dipasang pada jarak dekat dan kontinyu
- Elemen struktur yang termasuk sistim gading melintang adalah: frame, floor, deck beam dan pelat

Kontribusi utama dari sistim gading melintang adalah untuk menahan beban-beban hydrostatis. Sistim gading melintang biasanya dipakai untuk kapal yang kurang dari 300 ft dan kapal selam.

## B.3. Sistim Gading Kombinasi.

Sistim gading kombinasi merupakan kombinasi dari sistim gading memanjang dan melintang. Tujuan utama dari sistim gading kombinasi adalah:

- Mengoptimalkan susunan elemen struktur untuk pembebanan yang ditargetkan
- Meminimalkan biaya

Kombinasi yang umum untuk sistim gading kombinasi:

- Longitudinals dan stringers dengan gading-gading biasa
- Gading besar untuk tiap gading ke 3 atau ke 4

### **C. Dasar Ganda (Double Bottoms)**

Dasar ganda merupakan dua lapisan dasar kapal yang kedap air dengan suatu ruang kosong diantaranya untuk menahan:

- Tekanan ke atas
- Tegangan-tegangan lentur
- Kerusakan dasar kapal akibat kandas (grounding) dan goncangan bagian bawah air (underwater shock).

Double bottom menyediakan ruangan untuk menampung

- Bahan bakar (fuel oil)
- Air balas (ballast water) dan air tawar (fresh water)
- Memudahkan alas dalam (inner bottom) untuk memudahkan penyusunan muatan dan peralatan dan memudahkan pembersihan ruang palkah.

### **D. Sekat Tahan Air**

Sekat tahan air (watertight bulkhead) merupakan sekat besar yang membagikan lambung kapal atas beberapa bagian yang terpisah.

Peranan utama dari watertight bulkhead adalah:

- Memberikan kekakuan (stiffening) terhadap kapal
- Mengurangi efek dari kerusakan lambung

Penempatan posisi sekat-sekat kedap air yang tepat dapat menjamin kriteria stabilitas kapal sewaktu kecelakaan (damage stability criteria).

Sekat-sekat kedap air biasanya diperkuat elemen-elemen struktur baja secara vertikal dan horizontal.

### III.4. Model-Model Kegagalan Struktur

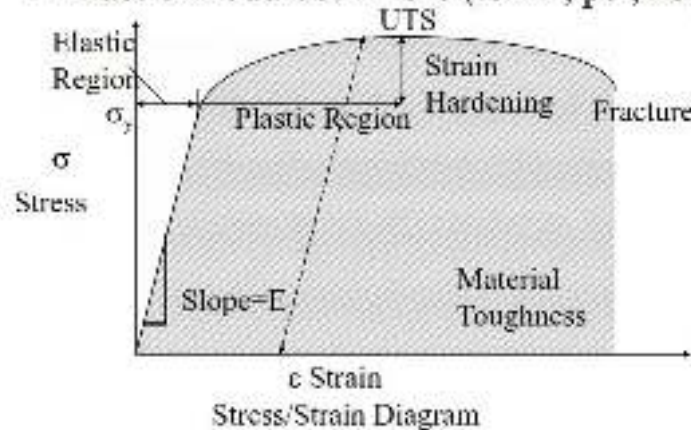
Berbagai kegagalan struktur sering terjadi sewaktu kapal beroperasi. Kegagalan-kegagalan tersebut dapat berasal dari material, sifat-sifat fisik material dan dimensi struktur. Berikut ini dijelaskan uraian umum tentang model-model kegagalan struktur.

#### A. Keluluhan (lumer) tegangan tarik atau tekan (tensile or compressive yield)

Berikut ini dijelaskan beberapa aspek menyangkut keluluhan material:

1. Deformasi plastis yang pelan dari suatu komponen struktur akibat adanya tegangan yang bekerja yang lebih besar dari tegangan lumer.
2. Untuk menghindari keluluhan material maka faktor-faktor keamanan (safety factors) dipertimbangkan untuk konstruksi kapal.
3. Safety factor = 2 atau 3 (tegangan maximum pada lambung kapal akan menjadi  $\frac{1}{2}$  atau  $\frac{1}{3}$  dari tegangan lumer.

- Stress:  $\sigma = F/A$  (lb/in<sup>2</sup>, psi or ksi)
- Elongation:  $e = L - L_0$ ; Strain:  $\epsilon = e/L_0$  (ft/ft)
- Elastic Modulus:  $E = \sigma/\epsilon$  (lb/in<sup>2</sup>, psi, ksi)



#### B. Tekuk (Buckling)

Berikut ini dijelaskan beberapa aspek menyangkut tekuk (buckling):

1. Perubahan-perubahan dimensi yang mendasar atau yang besar dan kehilangan kekakuan secara tiba-tiba diakibatkan oleh tekanan (compression) dari kolom atau pelat yang panjang.
2. Beban buckling pada kapal terjadi akibat muatan, gelombang, beban-beban tumbukan, dll. Contohnya:

- a. Buckling geladak yang diakibatkan oleh sagging, hogging dan beban di atas geladak
- b. Buckling pelat samping yang diakibatkan oleh gelombang, shock dan kandas (grounding)
- c. Buckling kolom yang diakibatkan oleh beban axial yang berlebihan

### **C. Kegagalan Akibat Kelelahan (Fatigue Failure)**

Berikut ini dijelaskan beberapa aspek menyangkut kelelahan (fatigue):

1. Kegagalan material dari kejadian tegangan secara berulang seperti dari vibrasi
2. Batas ketahanan (endurance limit) : tegangan di bawah kondisi dimana tidak akan gagal dari kelelahan.
3. Kegagalan kelelahan diakibatkan oleh:
  - a. Komposisi material (ketidak murnian, kandungan karbon, cacat-cacat internal)
  - b. Pekerjaan akhir (finishing) permukaan logam
  - c. Pengaruh lingkungan (korosi, salinitas, keasaman, kelembaban, dll)
  - d. Bentuk geometri material (sudut-sudut yang tajam, material yang tidak kontinyu)
  - e. Proses pembuatan / pengerjaan material (pengelasan, pemasangan)
4. Kelelahan umumnya mengakibatkan keretakan pada lambung kapal.

### **D. Retakan Akibat Kerapuhan (Brittle Fracture)**

Berikut ini dijelaskan beberapa aspek menyangkut brittle fracture:

1. Bencana kegagalan secara tiba-tiba dengan deformasi plastic yang kecil atau tanpa deformasi plastik
  - a. Brittle fracture tergantung dari:
  - b. Material: kekerasan atau ketangguhan yang rendah dengan material karbon yang tinggi
  - c. Temperatur: Material beroperasi dibawah temperatur transisinya
  - d. Geometry: titik lemah untuk retak: sudut-sudut atau ujung-ujung yang tajam
  - e. Type / tingkat pembebanan: beban-beban tarikan atau tumbukan yang buruk

### **E. Rembesan / Menjalar (Creep)**

Berikut ini dijelaskan beberapa aspek menyangkut creep:

1. Deformasi plastis yang lambat dari material akibat tegangan-tegangan yang bekerja secara kontinyu yaitu tegangan-tegangan di bawah tegangan lumernya.
2. Creep tidak biasanya merupakan hal khusus dalam struktur kapal



### Catatan tambahan (tidak untuk class note):

#### Cara mengurangi tegangan-tegangan geser pada kapal:

1. Mengubah bentuk lambung di bawah air sehingga distribusi buoyancy:
  - a. Bentuk lambung seperti tangga (step like shape) adalah sangat tidak efektif dari sudut pandangan hambatan kapal
  - b. Oleh karena kondisi pembebanan berubah tiap saat maka metode ini tidak layak dipakai
2. Mengkonsentrasi kekuatan lambung kapal dalam daerah dimana terjadi tegangan geser yang besar. Hal ini dapat dilakukan dengan:
  - a. Menggunakan material dengan kekuatan yang lebih tinggi (higher strength material)
  - b. Menaikan luas penampang melintang (cross-sectional area) struktur

#### Tegangan lentur dapat dikurangi dengan menggunakan:

- Baja kekuatan tinggi (higher strength steel)
- Luas daerah penampang melintang yang lebih besar dari elemen-elemen struktur memanjang

#### Thick low carbon steel nuclear reactor pressure vessel

##### – Brittle Fracture

- Operate primarily above transition temperature
- Minimize stresses when below transition temperature

#### Aluminum airplane wings where they join the fuselage

##### – Fatigue

- Highly polished surfaces
- Frequent inspections
- Periodic replacements

#### Weapons handling gear

##### – Tensile/compressive yield

- Limit loads
- Periodic weight tests
- Visual inspections prior to use

#### Steel water tower legs

##### – Buckling/instability

- Limit loads
- Cross brace

## BAB. IV. PENGENALAN ELEMEN KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL

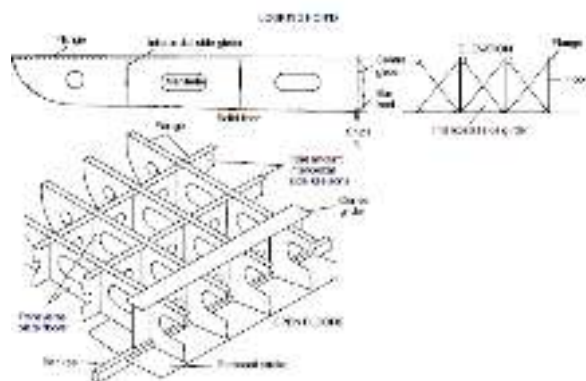
### IV.1. Konstruksi Alas (Bottom Structure)

Secara umum kapal-kapal dibuat dengan konstruksi alas tunggal (single bottom), maka bahan bakar dan air tawar ditampung dalam tangki-tangki yang dibuat secara terpisah. Untuk struktur alas ganda menjamin keamanan terhadap kerusakan kulit alas serta menyediakan tangki cairan pada alas ganda tersebut. Kapal-kapal kecil seperti tug-boat, ferry boat dan kapal-kapal barang yang kurang dari 500 GT yang mempunyai konstruksi alas tunggal sedangkan kapal-kapal pelayaran samudera memakai alas ganda.

#### B. Struktur Alas Tunggal (Single Bottom Structure).

Untuk kapal-kapal kecil yang mempunyai alas tunggal maka pelat vertikal wrang terbuka (open floor) dipasang pada tiap jarak gading dan diperkuat pada sisi atasnya. Penumpu tengah (centre line girder) dipasang dan satu penumpu samping (side girder) dipasang pada tiap sisi centre line, untuk lebar kapal yang kurang dari 10 m. Untuk lebar kapal antara 10 dan 17 m maka dua penumpu samping (side girders) dipasang.

Penumpu tengah (kontinyu) dan penumpu samping (intercostal) diperkuat pada sisi atas dan diperpanjang sejauh mungkin ke haluan dan buritan. Struktur alas tunggal ditunjukkan pada Gambar 4.1. Profil 3-D dari struktur ditunjukkan untuk menggambarkan elemen struktur yang kontinyu dan intercostal. Plafon papan kayu dapat dipasang di atas floor jika muatan diangkut, tetapi bagian ini tidak dipandang sebagai proteksi jika pelat alas kapal mengalami kerusakan.



Gambar 4.1. Konstruksi Alas Tunggal (Single Bottom Construction)

### **C. Struktur Alas Ganda (Double Bottom Structure)**

Alas dalam (inner bottom) atau pelat atas tangki (tank top) dapat dipasang pada suatu ketinggian di atas pelat kulit dan membentuk kedap air sampai ke bilga (bilges). Struktur ini menyediakan cadangan keamanan terhadap kondisi kerusakan pelat alas ketika ruangan pada alas ganda kemasukan air (flooded). Ruangan ini dipakai untuk mengangkut bahan bakar minyak dan air tawar untuk kebutuhan kapal serta menyediakan kapasitas air ballast. Tinggi minimum alas ganda tergantung dari persyaratan-persyaratan biro klasifikasi tentang ketinggian penumpu tengah. Alas ganda menjadi lebih tinggi untuk memenuhi kapasitas bahan bakar minyak, air tawar dan air ballast yang ditempatkan pada bagian dasar kapal. Juga tangki dasar air ballast digunakan untuk tujuan pengetriman kapal bagian haluan dan buritan. Jika perlu maka ketinggian alas ganda dapat dipertinggi pada daerah-daerah ini. Di ruangan kamar mesin ketinggian alas ganda juga ditingkatkan untuk menyediakan kapasitas untuk bahan bakar dan minyak pelumas. Peningkatan ketinggian pelat alas dalam (inner bottom) selalu dilakukan secara kenaikan yang gradual (gradual taper) dalam arah memanjang dan tidak diijinkan diskontinyu setempat untuk struktur ini.

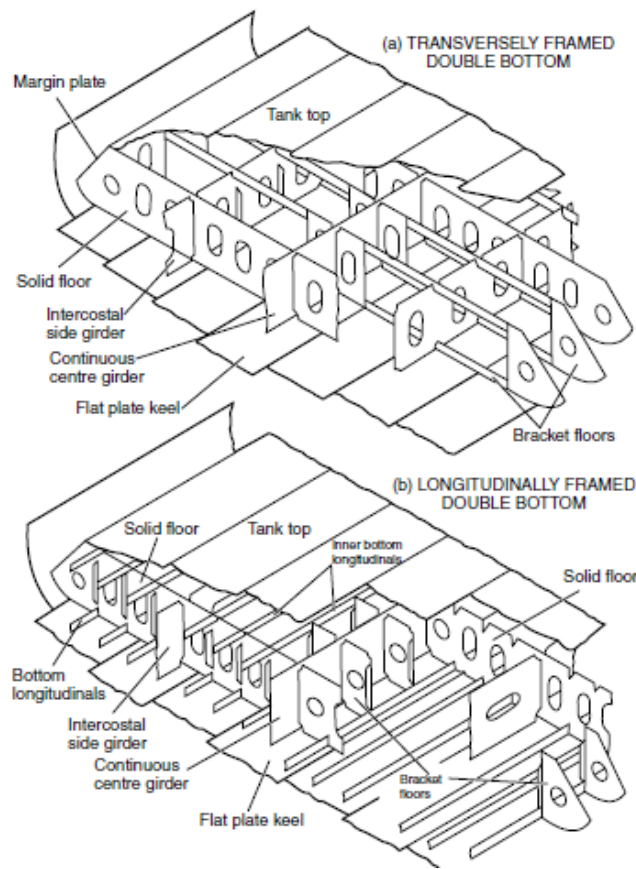
Alas ganda dapat ditempatkan gading memanjang atau melintang (Gambar 4.2), tetapi untuk panjang kapal yang melebihi 120 m maka dipertimbangkan untuk menggunakan sistim gading memanjang. Hal ini dimaksud bahwa kapal-kapal yang panjang mengalami kecenderungan pelat alas dalam dan pelat alas mengalami deformasi (buckling) jika digunakan sistim gading melintang. Deformasi buckling ini terjadi sebagai akibat lenturan memanjang kapal dan dapat dihindari dengan menggunakan pelat yang diperkuat secara memanjang. Alas ganda di dalam daerah kamar mesin yang berdekatan dengan ceruk buritan diharuskan untuk menggunakan sistim gading melintang.

#### **C.1. Pelat Alas Dalam (Inner Bottom Plating)**

Pelat alas dalam terdapat pada kapal barang muatan umum dapat dibuat miring pada sisi kapal untuk membentuk bilga untuk tujuan drainase. Biasanya lapisan kayu (wood ceiling) dipasang di bawah bukaan palkah pada kapal barang muatan umum, tetapi ketebalam pelat alas dalam dapat ditambahkan dan lapisan kayu dapat ditiadakan. Jika digunakan alat penyedok “grab” untuk mengeluarkan muatan barang dari kapal maka ketebalan pelat harus ditingkatkan pula atau digunakan lapisan ganda.

## C.2. Wrang (Floors)

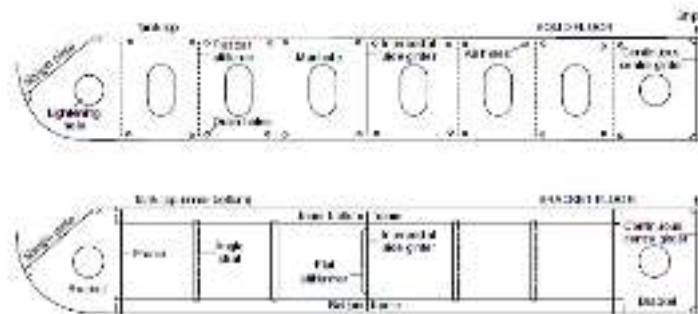
Pelat melintang vertikal dari wrang dipasang untuk sistim gading melintang dan memanjang. Pada ujung-ujung ruang tanki alas dan di bawah sekat-sekat utama, dipasang pelat wrang kedap air dan kedap minyak. Konstruksi kedap air dan kedap minyak dilakukan dengan cara menutup semua lobang pada pelat wrang dan pengelasan semua lobang pada wrang. Untuk semua tempat dipasang ‘solid plate floor’ untuk memperkuat alas kapal secara melintang dan mendukung alas dalam. Konstruksi ini terpasang mulai dari lunas tengah ke bilga dan lubang orang (man holes) dipasang untuk akses ke tangki-tangki dan lubang-lubang peringan dipotong pada setiap pelat wrang. Juga, lubang udara dan drainase kecil dibor pada pelat wrang bagian atas dan bawah dalam ruang-ruang tangki. Jarak wrang bervariasi menurut beban-beban yang disupport dan tegangan-tegangan lokal. Pada jarak gading antara (intermediate) ‘solid floor plate’ dapat dipasang ‘bracket floors’. Bracket floor terdiri dari pelat bracket melintang yang pendek yang dipasang pada penumpu tengah (centre girder) dan sisi tanki (tank sides) (Gambar 4.2 dan 4.3).



Gambar 4.2. Konstruksi Alas Ganda (Double Bottom Construction)

### C.3. Alas Ganda Dengan Gading Melintang (Transversely Framed Double Bottom)

Jika alas ganda menggunakan gading melintang, maka wrang ‘solid plate’, wrang bracket dengan gading-gading melintang memberikan tumpuan utama untuk ‘inner bottom’ dan pelat alas kapal (Gambar 4.3). Solid plate floor dipasang pada tiap gading di dalam ruang mesin serta dipasang pada kedudukan ketel (boiler), sekat melintang, daerah perubahan tinggi dari alas ganda. Untuk kapal yang muatannya dibongkar dengan grab maka solid plate floor dipasang pada tiap gading. Pada tempat lain, solid floor plate dapat ditempatkan sampai 3,0 m terpisah, dengan bracket floor pada tiap jarak gading diantara solid plate floor. Pelat bracket dari bracket floor diberi flens dengan lebarnya sekurangnya 75 % dari tinggi lunas tengah pada bracket floor. Untuk mengurangi rentangan (span) gading, yang tidak boleh melebihi 2,5 m, pada bracket floor, maka dapat dipasang angle vertikal strut atau channel bar strut. Penguat (stiffener) vertikal biasanya dalam bentuk flat bar yang dilas dapat dipasang pada solid plate floor untuk memperkuat tangki-tangki air atau minyak. Satu penumpu samping interkostal dipasang pada sisi kiri dan kanan kapal dimana lebar kapal melebihi 10 m tetapi tidak melebihi 20 m dan dua penumpu samping interkostal dapat dipasang pada sisi kiri dan kanan kapal pada lebar kapal yang lebih besar. Pada daerah bracket floor, flat stiffener vertikal yang dilas dipasang pada side girder. Penumpu samping tambahan dipasang pada ruang mesin.

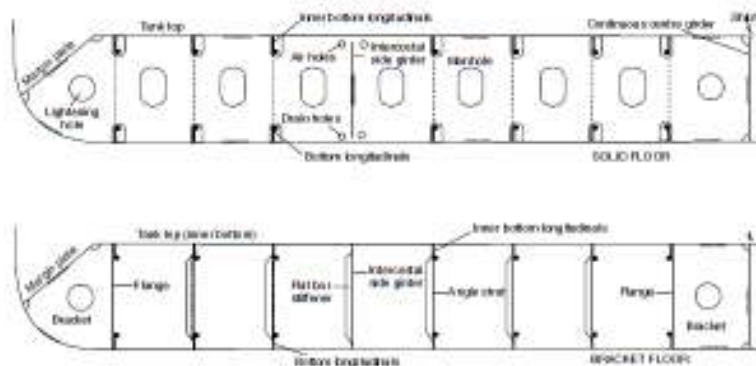


Gambar 4.3. Konstruksi Alas Ganda Dengan Gading Melintang

#### C.4. Alas Ganda Dengan Gading Memanjang (Longitudinally Framed Double Bottom)

Pada alas ganda dengan gading memanjang, solid plate floors dipasang pada tiap gading di bawah mesin induk dan gading-gading alternatif di luar dudukan mesin. Mereka juga dipasang dibawah dudukan ketel, sekat melintang dan sekat-sekat tangki tinggi. Di lain tempat, jarak solid plate floor tidak boleh melebihi 3,8 m. Suatu frame bracket antara dapat dipasang pada sisi tanki dan lunas tengah dimana mereka boleh berukuran 1,25 m masing-masing. Tiap bracket diberi flens dan diperpanjang sampai stiffener memanjang yang terdekat (Gambar 4.4).

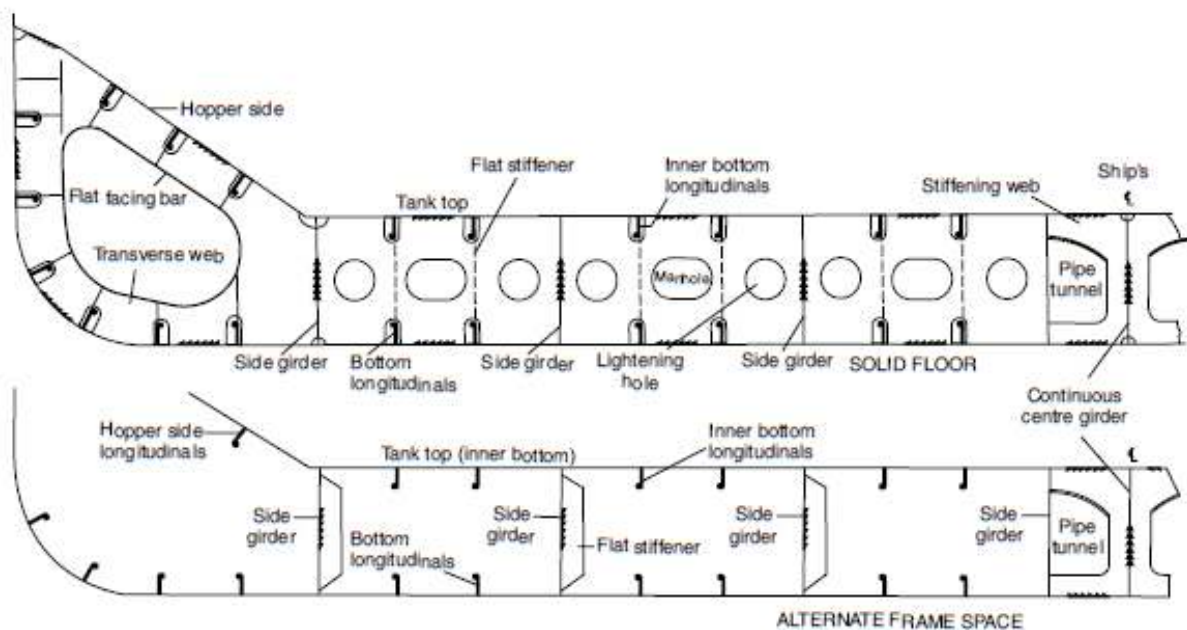
Satu penumpu samping interkostal dipasang pada sisi kiri dan kanan kapal jika lebar kapal melebihi 14 m dan jika lebar kapal melebihi 21 m maka dipasang dua lunas samping pada sisi kiri dan kanan kapal. Penumpu-penunmpu samping tersebut selalu diperpanjang sejauh mungkin ke haluan dan buritan. Penumpu samping tambahan dapat dipasang dalam ruang mesin, di bawah mesin induk dan mereka diperpanjang sampai seluruh ruang mesin, melebihi tiga jarak gading di luar ruang mesin. Di ujung lunas ini bentuknya diperkecil dan disambung dengan sistim gading memanjang. Jarak rentang tak bertumpu dari penguat alas memanjang (bottom longitudinals) tidak melebihi 2,5 m dan dipasang strut angle vertikal atau strut channel bar untuk memperkuat penumpu memanjang diantara solid floor yang lebar.



Gambar 4.4. Longitudinally Framed Double Bottom Construction

### C.5. Struktur Alas Bulk Carrier (Bottom Structure of Bulk Carriers)

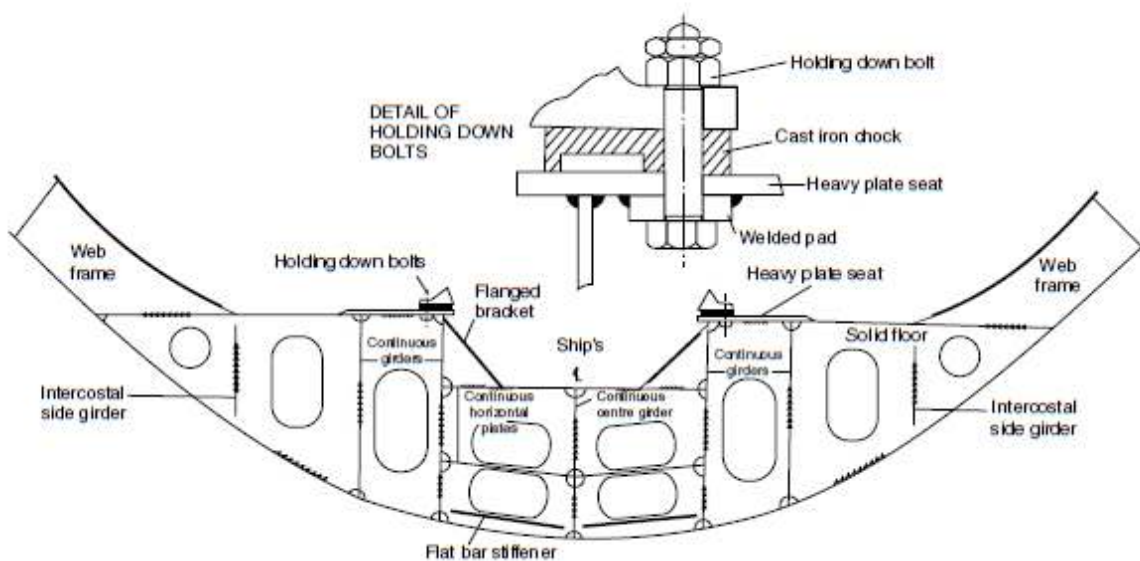
Suatu kapal yang dikelaskan untuk mengangkut muatan berat atau biji tambang maka dipakai sistim gading memanjang dan alas ganda (double bottom). Diperlukan jarak gading yang pendek dari solid plate floor dimana jarak gading maximum adalah 2,5 m dan juga diperlukan tambahan penumpu samping interkostal dengan jarak diantaranya tidak melebihi 3.7 m (Gambar 4.5). Alas ganda terkadang lebih tinggi dari kapal-kapal barang lainnya untuk kebutuhan air ballast yang banyak dan seringkali digunakan untuk jalur perpipaan. Pelat alas dalam, wrang dan penumpu semuanya mempunyai ukuran khusus sesuai dengan type muatan yang diangkut.



Gambar 4.5. Bulk Carrier Double Bottom Construction

#### D. Dudukan / Bantalan Mesin (Machinery Seats)

Umumnya dalam ruang mesin, tambahan wrang melintang dan penumpu samping intercostal dipasang untuk mendukung mesin secara efektif serta menjamin kekakuan struktur. Dudukan motor induk secara umum menyatu dengan struktur alas ganda dan alas dalam yang berhubungan dengan fondasi motor mempunyai ketebalan yang lebih besar. Seringkali dudukan motor induk dibentuk dengan penumpu memanjang yang didukung oleh bracket yang berhubungan dengan wrang (Gambar 4.6). Pada waktu belakangan ini, khususnya untuk kapal-kapal penumpang, dilakukan usaha untuk mengurangi efek bunyi dan vibrasi yang dihasilkan dari instalasi motor induk.



Gambar 4.6 Dudukan Mesin (Engine Seats)



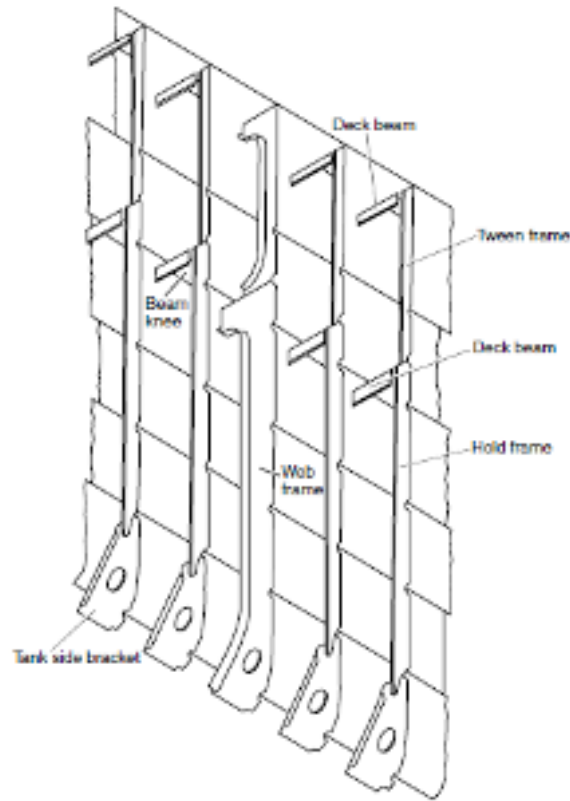
## **IV.2. Gading (Framing)**

Pelat alas ditumpu secara melintang atau memanjang, dimana tumpuan (sistim gading) memanjang dipilih untuk kapal-kapal yang lebih besar (>120 meter). Juga sistim gading untuk pelat kulit sisi dapat ditumpu secara melintang atau memanjang. Sistim gading melintang diadopsi pada kebanyakan kapal-kapal barang konvensional khususnya diperlukan kapasitas bal (bale) yang maximum. Gading memanjang diadopsi dalam ruang lambung ganda (double hull) dan merupakan hal yang umum pada bagian hopper dan tangki-tangki tinggi untuk bulk carrier.

### **A. Sistim Gading Melintang (Transverse Framing).**

Pada kapal-kapal barang muatan umum, sistim gading melintang terdiri dari gading-gading utama (web frames) and gading-gading palkah (hold frames) dengan braket (brackets) pada bagian atas (top) and bawah (bottom). Gading-gading dengan ukuran yang lebih kecil digunakan pada geladak antara (tween deck) dengan braket hanya pada bagian atas (Gambar 4.7). Ukuran elemen konstruksi (scantling) dari gading-gading melintang utama adalah tergantung dari posisinya, jarak spasi dan tinggi, dan juga kekakuan (rigidity) dari sambungan-sambungan ujung. Gading-gading yang menopang balok bukaan palkah (hatch end beam) dan gading-gading dalam balok geladak melintang dimana geladak ditopang secara memanjang juga mempunyai ukuran yang lebih besar.

Gading utama (web frames) yaitu gading yang dibuat (built up) terdiri dari pelat web and pelat hadap (face plate), dimana web adalah lebih besar dari gading melintang konvensional, sering digunakan sepanjang pelat sisi (Gambar 4.7). Sejumlah gading terpasang di ruang midship, umumnya tidak lebih dari 5 jarak gading terpisah satu dengan lainnya, tetapi dapat dihilangkan jika ukuran dari gading normal diperbesar. Di depan sekat tubrukan dan dalam setiap tangki tinggi yang berdekatan dengan sekat tubrukan dan dalam geladak antara di atas tangki-tangki tersebut, gading-gading web diperlukan pada jarak tidak kurang dari 5 jarak gading terpisah. Dalam geladak antara di atas tangki ceruk buritan, gading-gading web diperlukan pada tiap jarak gading ke empat di belakang sekat ceruk buritan. Dalam semua kasus, ketentuan untuk gading web dimaksudkan untuk meningkatkan kekakuan dari penampang melintang kapal pada lokasi tersebut.

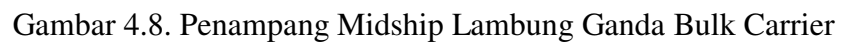


Gambar 4.7. Pelat Sisi Dengan Sistim Gading Melintang

### B. Sistim Gading Memanjang (Longitudinal Framing)

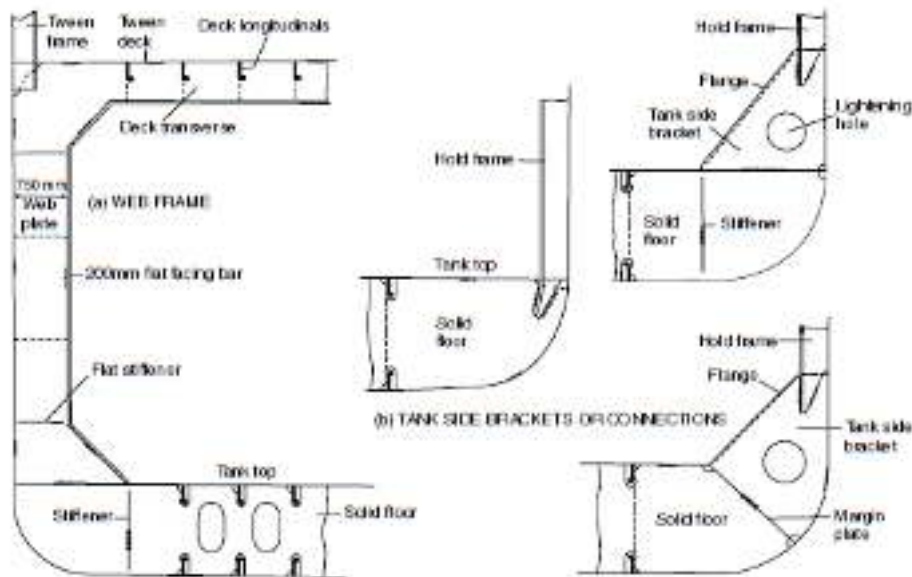
Jika kulit sisi kapal ditumpu secara memanjang di luar penampang-penampang bulb maka pada pelat sisi digunakan ukuran penampang yang lebih besar. Konstruksi ini menjamin kekuatan kapal dan kebanyakan detail dari elemen konstruksi memanjang terpasang pada kapal-kapal tanker. Gading-gading besar (web) dipasang untuk menopang penumpu-penumpu sisi memanjang, dimana web ditempatkan pada jarak tidak lebih dari 3,8 m satu terhadap lainnya, pada kapal-kapal dengan panjang 100 m atau kurang, dengan jarak gading ditambah untuk kapal-kapal yang lebih panjang.

Dalam daerah-daerah ceruk jarak gading adalah 2,5 m untuk kapal-kapal dengan ukuran panjang kurang dari 100 m dan meningkat secara linear sampai 3,5 m untuk kapal-kapal dengan ukuran panjang lebih dari 300 m. Kapal-kapal yang lebih besar memerlukan lambung ganda dengan sistim gading memanjang pada sisi-sisi web melintang disusun segaris dengan wrang-wrang dalam daerah dasar ganda untuk menjamin kontinuitas dari kekuatan melintang. Pelat-pelat datar berlubang horizontal dipasang antara pelat sisi dalam dan luar untuk menopang web-web melintang (Gambar 4.8 dan 4.9).



### C. Braket Sisi Tangki

Bagian bawah gading dapat dihubungkan dengan tutup atas tangki atau hopper sisi tangki melalui flens atau braket sisi tangki dengan pinggiran yang diperkuat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Web Frame and Tank Side Bracket

### IV.3. Sekat Kedap Air (Watertight Bulkheads)

Semua Kapal harus memiliki satu sekat tubrukan (collision bulkhead), satu sekat ceruk buritan (stern tube bulkhead) dan satu sekat kedap pada tiap ujung ruang mesin. Untuk kapal-kapal dengan kedudukan mesin di belakang, stern tube bulkhead dapat diganti dengan sekat belakang ruang mesin. Untuk kapal-kapal tanpa sekat memanjang dalam ruang muat maka jumlah sekat kedap air secara umum tidak boleh kurang dari yang diberikan pada Tabel 2.1. Di depan sekat tubrukan (collision bulkhead) dan di belakang sekat ceruk buritan (after peak bulkhead) frame spacing secara umum tidak melebihi 600 mm.

Tabel 2.1. Jumlah sekat kedap melintang

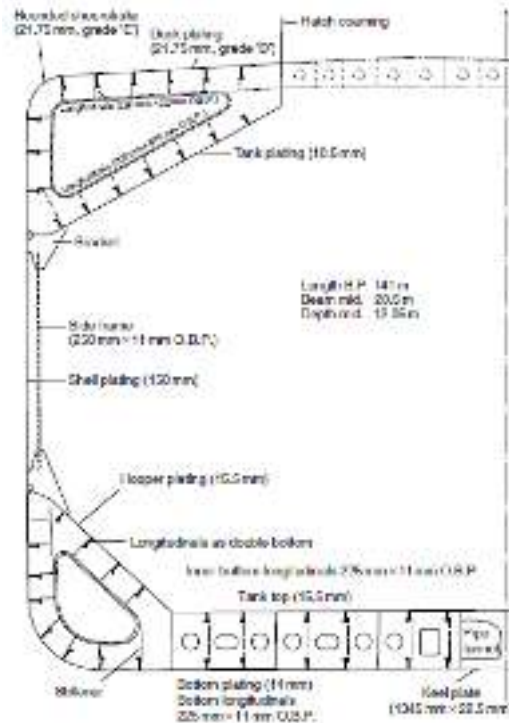
L [m]	Arrangement of machinery space	
	aft	elsewhere
$L \leq 65$	3	4
$65 < L \leq 85$	4	4
$85 < L \leq 105$	4	5
$105 < L \leq 125$	5	6
$125 < L \leq 145$	6	7
$145 < L \leq 165$	7	8
$165 < L \leq 185$	8	9
$L > 185$	to be special considered	

#### IV.4. Bilge Keel

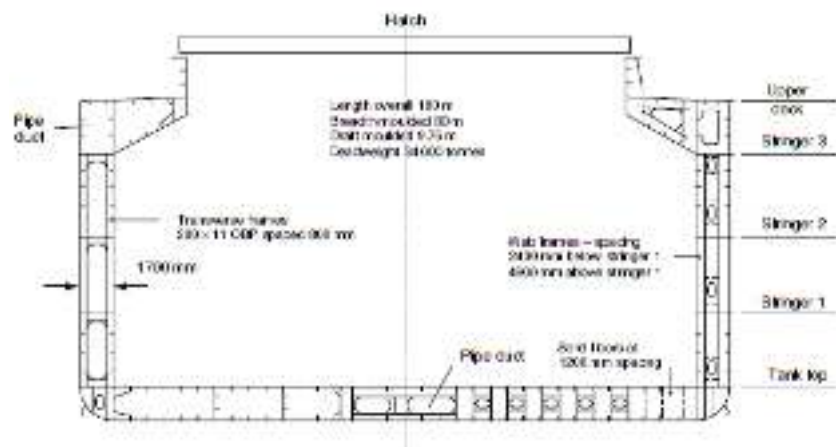
Kebanyakan kapal dilengkapi dengan beberapa bentuk lunas bilga (bilge keel) dimana fungsi utamanya adalah untuk membantu meredam gerakan roll dari kapal. Manfaat lainnya dari bilge keel ialah memproteksi lengkungan bilga kapal dari efek kandas (grounding) dan meningkatkan kekuatan memanjang pada bilga. Kontribusi peredaman (damping) yang dialami oleh bilge keel adalah relatif kecil tetapi efektif dan tanpa biaya yang berlebihan terhadap konstruksi kapal. Bilge keel umumnya terletak di sekitar bagian midship kapal dan dapat diperpanjang ke haluan dan buritan dan tegak lurus terhadap lengkungan bilga.

Secara umum bilge keels dipasang pada suatu ground bar yang kontinyu dengan sambungan las butt pada pelat kulit, ground bar dan bilge keel staggered (Gambar 4.11). Koneksi langsung antara sambungan las butt ground bar dan pelat bilge dan sambungan las but bilge keel dan ground bar haruslah dihindari. Untuk kapal-kapal diatas panjang 65 m, maka lubang-lubang dibor pada sambungan las but bilge keel seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10. Ketebalan ground bar adalah setidaknya sama dengan ketebalan pelat bilga atau 14 mm atau yang mana diantaranya yang lebih kecil dan grade material adalah sama dengan material pelat bilga.





Gambar 4.12. Single Side Skin Midship Section – Bulk Carrier

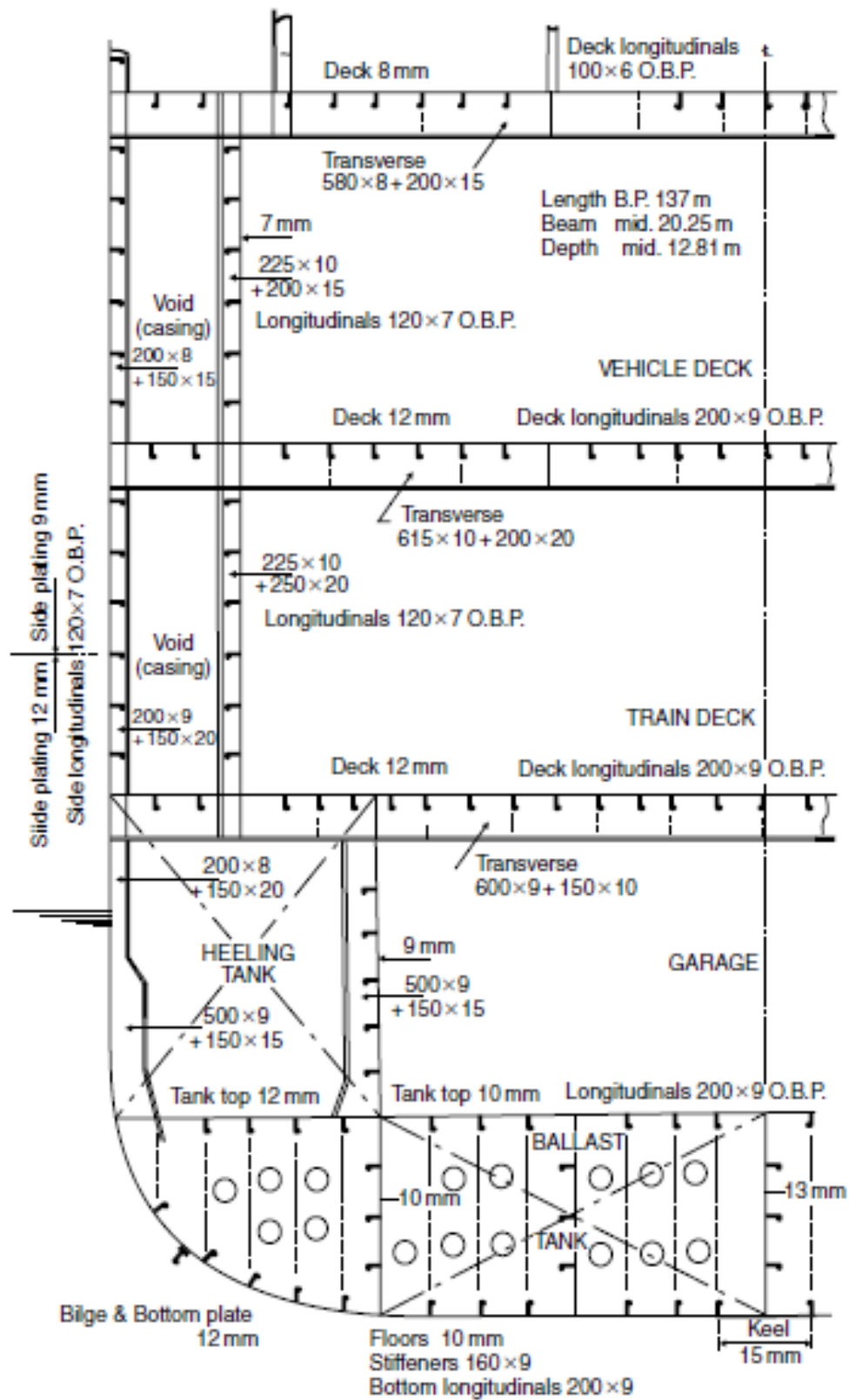


Gambar 4.13. Double Side Skin Midship Section – Bulk Carrier

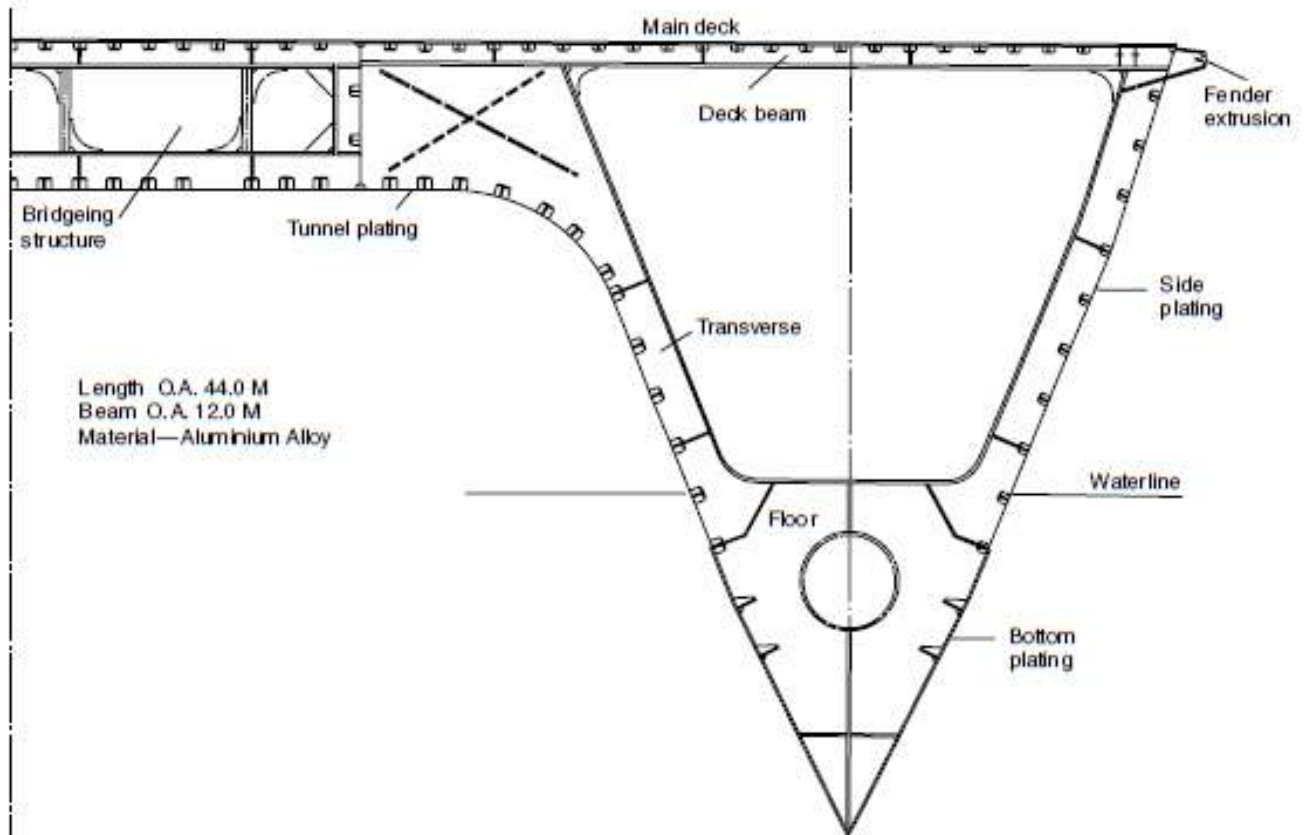


Gambar 4.14 Midship Section – Container Ship





Gambar 4.15 Midship Section – Ro-Ro Ship



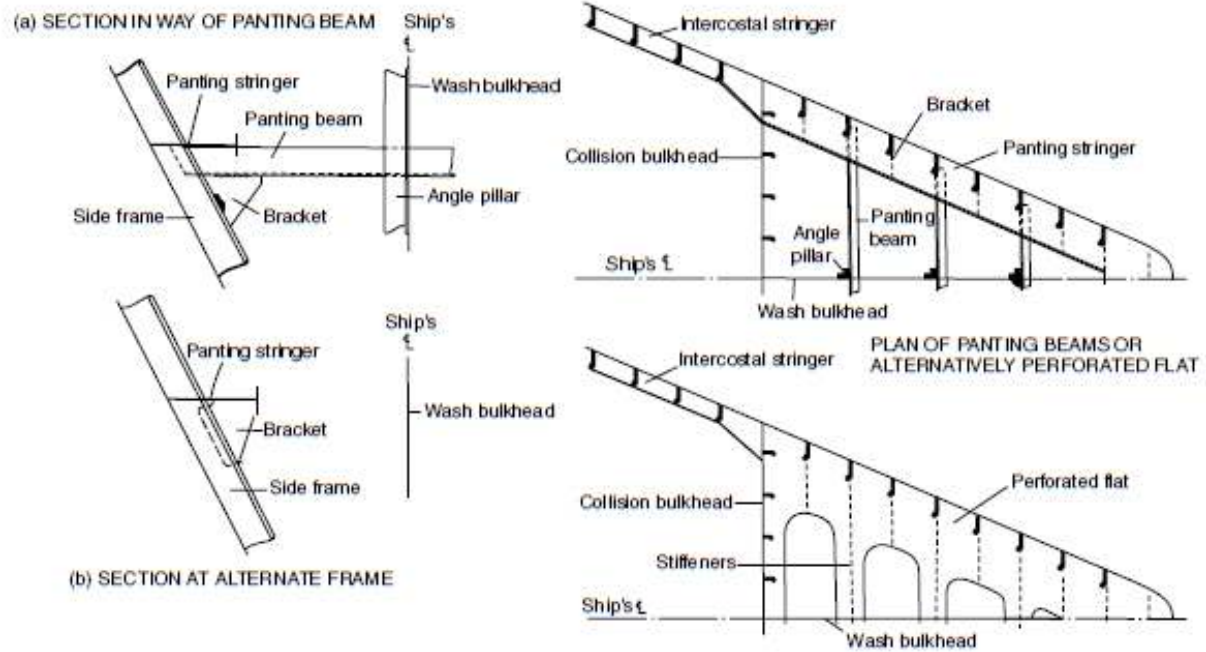
Gambar 4.16 Midship Section – High Speed Craft, Catamaran

#### IV.6. Penguatan Pelat Kulit Lokal

Lokasi utama dimana pelat kulit mengalami gaya-gaya lokal yang besar ketika beroperasi di laut ialah pada ujung depan kapal. Penguatan kulit alas depan kapal untuk gaya-gaya tumbukan akan mendapat perhatian khusus. Penguatan tambahan diperlakukan di struktur ceruk haluan, sistim gading melintang ditumpu oleh susunan elemen berikut ini:

- Penguat sisi (side stringers) yang ditempatkan secara vertikal sekitar 2 m terpisah dan ditumpu oleh struts atau beams yang terpasang pada gading-gading alternatif. Balok-balok penguat (panting beams) ini dihubungkan pada gading-gading dengan bantuan braket dan jika ukurannya panjang maka mereka dapat ditumpu pada centre line kapal melalui sekat parsial (partial wash bulkhead). Gading-gading antara (intermediate frames) dihubungkan dengan stringer melalaui braket (Gambar 4.17).
- Penguat sisi (side stringer) ditempatkan berjarak 2 m satu terhadap lainnya dan ditumpu oleh gading-gading Web
- Pelat datar berlubang ditempatkan tidak lebih dari 2.5 m satu terhadap lainnya. Luas daerah-daerah lubang tidak boleh kurang dari 10 % total luas pelat datar.

Di belakang tangki ceruk haluan di dalam ruang-ruang palkah bawah atau tangki tinggi balok penguat panting dipasang segaris dengan setiap penguat atau pelat rata berlubang dalam ceruk haluan diperpanjang dari depan ke belakang melebihi 15 % dari panjang kapal. Penguat-penguat ini dapat ditiadakan jika ketebalan pelat kulit kapal ditambah sebesar 15 % untuk kapal dengan panjang 150 m atau kurang dan berkurang secara linear sampai 5 % untuk kapal dengan panjang 215 m atau lebih. Penguat-penguat (stringers) biasanya berbentuk pelat web dengan pelat hadap. Dalam ruang antar geladak (tween deck) di depan 15 % panjang kapal maka dipasang penguat panting antara (intermediate panting stringer) dimana panjang tidak ditumpu dari tween deck melebihi 2,6 m di geladak antara bagian bawah atau 3 m di geladak antara bagian atas. Alternatif lainnya yaitu ketebalan pelat kulit dapat ditambahkan seperti diuraikan di atas. Di dalam ruang ceruk buritan dan dalam geladak antara di atas ceruk buritan maka susunan penguat panting diperlukan untuk gading melintang kecuali bahwa jarak vertikal dari penguat panting mencapai 2,5 m. Jika ceruk haluan mempunyai sistim gading memanjang dan ketinggian tangki melebihi 10 m maka gading-gading web melintang yang menumpu penguat memanjang harus ditumpu oleh pelat datar berlubang atau menggunakan susunan balok-balok melintang.



Gambar 4.17. Penyusunan Balok Penguat (Panting) Haluan

## **BAB V. APLIKASI RULES BIRO KLASIFIKASI INDONESIA**

### **V.1. Penggunaan Rules Biro Klasifikasi Indonesia**

Rules yang dipakai adalah Peraturan untuk lambung kapal (Rules for Hull BKI) tahun 2014. Peraturan ini diterapkan untuk kapal laut dengan material lambung dari baja dengan klas A 100 yang memiliki rasio lebar/tinggi geladak (B/H) yang berada pada jangkauan (range) yang umum untuk kapal-kapal laut dan tinggi geladak H tidak kurang dari:

- L/16 untuk jangkauan tidak terbatas dari Service and P (Restricted Ocean Service)
- L/18 untuk L (Coasting service)
- L/19 untuk T (Sheltered Shallow Water Service)

### **V.2 Defenisi-Defenisi**

#### **A. Dimensi Kapal (Ship Dimension)**

##### **1. Panjang kapal (Ship Length) L**

Panjang kapal L adalah jarak (dalam meter) dari garis air pada musim panas (summer load waterline) dari sisi depan linggi haluan (stem) ke sisi belakang dari bantalan kemudi (rudder post) atau pusat tongkat kemudi (rudder stock) jika tidak terdapat rudder post.

L tidak kurang dari 96% dan tidak lebih dari 97% panjang maximum summer load waterline.

Untuk kapal-kapal dengan bentuk linggi haluan dan buritan yang tidak biasanya maka L akan dipertimbangkan secara khusus.

##### **2. Panjang L<sub>c</sub> (menurut ICLL = International Convention on Load Line, MARPOL 73/ 78 = Marine Pollution, IBC - Code dan IGC - Code )**

Panjang L<sub>c</sub> ditetapkan sebagai 96 % dari panjang total waterline pada 85 % dari tinggi geladak (moulded) H<sub>c</sub> diukur dari sisi atas lunas atau sebagai panjang dari sisi depan linggi haluan ke sumbu poros kemudi pada waterline tersebut, jika panjang ini lebih besar. Jika kapal-kapal didesain dengan rake of keel maka waterline dimana panjang ini diukur harus sejajar dengan garis air desain.

##### **3. Length L\* (Menurut SOLAS 74 Chapter II-1, Reg 2 = Safety of Life at Sea)**

Panjang kapal L\* adalah panjang yang diukur antara garis tegak (perpendiculars) yang diambil pada ujung-ujung garis muat subdivisi yang paling dalam.

#### **4. Panjang Subdivision Ls**

Referensi ini dibuat sesuai definisi pada **SOLAS 74**, Chapter II-1, Reg. 25 – 2.2.1 dan in Section 36, B.4.

### **B. Dimensi Lainnya**

#### **1. Forward perpendicular FP.**

Garis tegak haluan (forward perpendicular) yang berpotongan dengan sisi depan linggi haluan pada garis air dimana panjang **L**, **Lc**, atau **L\*** diukur.

#### **2. Lebar (Breadth) B**

Lebar **B** adalah lebar (moulded) terbesar dari kapal.

#### **3. Tinggi Geladak (Depth) H**

Tinggi geladak **H** adalah jarak vertikal, pada pertengahan panjang **L**, dari base line ke sisi atas balok geladak pada geladak kontinyu paling atas (uppermost continuous deck).

Untuk perhitungan bangunan atas yang efektif (effective superstructures) maka tinggi geladak **H** adalah diukur sampai ke geladak bangunan atas untuk penentuan ukuran konstruksi kapal (ship's scantlings).

#### **4. Tinggi Sarat (Draught/Draft) T**

Tinggi sarat **T** adalah jarak vertikal pada pertengahan panjang **L** dari base line ke tanda lambung timbul (freeboard) pada garis muat musim panas (summer load waterline). Untuk kapal-kapal dengan timber load line maka tinggi sarat **T** diukur sampai ke tanda freeboard untuk timber load waterline.

#### **5. Jarak Gading (Frame Spacing) a**

Jarak gading **a** diukur dari sisi moulding ke sisi moulding dari gading.

#### **6. Block coefficient C<sub>B</sub>**

Moulded block coefficient at load draught **T**, based on length **L**.

$$CB = (\text{moulded displacement (m}^3\text{) pada tinggi sarat T}) / (L \cdot B \cdot T)$$

#### **7. Ship's speed v<sub>0</sub>**

Kecepatan dinas maximum (kn) adalah kecepatan dimana kapal didesain untuk berada pada tinggi sarat summer load line dan putaran propeller (RPM) yang sesuai dengan daya dorong MCR (maximum continuous rating). Untuk kasus kapal dengan controllable pitch propellers (CPP) maka kecepatan v<sub>0</sub> ditentukan berdasarkan pitch maximum.

## **C. Defenisi Tentang Geladak (Definition of decks)**

### **1. Geladak Sekat (Bulkhead deck)**

Geladak sekat adalah geladak sampai ke atas dimana sekat-sekat kedap air terpasang.

### **2. Geladak Lambung Timbul (Freeboard deck)**

Geladak lambung timbul adalah geladak dimana perhitungan berdasarkan freeboard dilakukan.

### **3. Geladak Kekuatan (Strength deck)**

Geladak kekuatan adalah geladak bagian geladak yang membentuk flens atas dari struktur memanjang yang efektif

### **4. Geladak Cuaca (Weather deck)**

Semua geladak bebas dan bagian geladak yang berhubungan dengan laut didefenisikan sebagai geladak cuaca.

### **5. Geladak Bawah (Lower decks)**

Mulai dari geladak pertama di bawah geladak kontinyu paling atas, geladak-geladak bawah didefenisikan sebagai geladak kedua (2nd deck), geladak ke tiga (3rd deck), dll.

### **6. Geladak Bangunan Atas (Superstructure decks)**

Geladak bangunan atas terletak di atas geladak kontinyu paling atas dinamakan forecastle deck, bridge deck dan poop deck. Geladak bangunan atas di atas bridge deck dinamakan 2nd superstructure deck, 3rd superstructure deck, dll.

## **D. Toleransi Pembulatan (Rounding-off Tolerances)**

Dimana dalam penentuan ketebalan pelat sesuai dengan peraturan yang berlaku maka hasil-hasil yang berbeda dari full atau setengah mm, maka mereka dapat dikurangkan (rounded off) ke full atau setengah mm sampai ke 0,2 atau 0,7; di atas 0,2 atau 0,7 mm mereka dapat ditambahkan (rounded up). Jika ketebalan pelat tidak dibulatkan (rounded) maka perhitungan ketebalan harus ditunjukkan di gambar.

Modulus penampang profil biasanya ditentukan dan termasuk lebar efektif menurut Section 3, E. dan F. boleh 3 % kurang dari nilai yang diinginkan sesuai dengan peraturan dalam penentuan ukuran.

### V.3. MATERIAL

Semua jenis material yang digunakan untuk bagian struktur kapal yang ditunjukkan dalam Peraturan Konstruksi haruslah sesuai dengan Rules for Materials, Volume V. Material yang berbeda dari persyaratan peraturan harus mendapat persetujuan khusus.

#### A. Struktur Baja Kapal untuk Pelat dan Penampang

Struktur baja kekuatan lambung normal adalah struktur baja dengan nilai minimum titik lumer atas (upper yield point),  $R = 235 \text{ N/mm}^2$  dan daya rentang (tensile strength),  $R_m = 400 - 520 \text{ N/mm}^2$ . Faktor material  $k$  dalam rumusan selanjutnya ditetapkan sebesar 1,0 untuk kekuatan struktur lambung baja normal. Kekuatan struktur lambung baja normal diklasifikasikan ke dalam tingkatan KI-A, KI-B, KI-D, KI-E, yang berberda satau terhadap lainnya menurut sifat-sifat kekerasannya. Jika untuk struktur khusus penggunaan baja dengan sifat-sifat lumer yang kurang dari  $235 \text{ N/mm}^2$  diterima maka material factor  $k$  ditentukan oleh:

$$k = 235/R_{eH}$$

Struktur lambung baja kekuatan tinggi adalah strktur lambung baja dimana sifat-sifat lumer dan regangan melebihi struktur lambung baja normal. Menurut The Rules for Materials, Volume V, terdapat tiga group struktur lambung baja kekuatan tinggi dengan titik lumer atas nominal  $R_{eH}$  yang ditetapkan masing-masing 315, 355 and 390 N/mm. Bilamana digunakan struktur lambung baja yang lebih tinggi untuk tujuan elemen konstruksi maka nilai-nilai pada Tabel 2.1 dengan factor material  $k$  dapat digunakan dalam berbagai penampang.

Untuk struktur lambung baja dengan kekuatan yang lebih tinggi dengan titik lumer nominal mencapai  $390 \text{ N/mm}^2$  maka factor material  $k$  dapat ditentukan menurut rumus berikut:

$$k = 295 / (R_{eH} + 60)$$

**Table 2.1 Material factor  $k$**

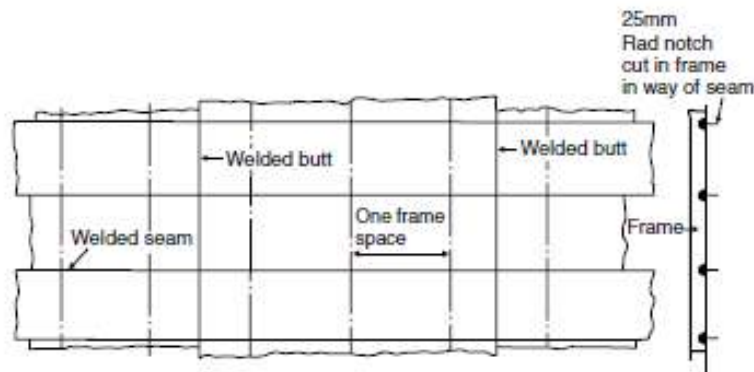
$R_{eH} [\text{N/mm}^2]$	$k$
315	0,78
355	0,72
390	0,66

Untuk kelas dan tingkatan material dan jenis material logam lainnya selanjutnya dapat dipelajari pada referensi BKI 2014.



## V.4. PELAT KULIT (SHEEL PLATING)

Penggunaan rumus desain yang tertera pada B.1.2 dan C.1.2 (BKI–Rules for Hull 2014) terhadap kapal-kapal yang panjangnya kurang dari 90 m dapat diterima jika pembuktian kekuatan memanjang telah dilakukan. Pelat kulit membentuk kulit lambung kapal yang tahan air (watertight) serta mendukung kekuatan memanjang (longitudinal strength) dan gaya-gaya geser vertikal (vertical shear force). Kekuatan internal dari pelat kulit adalah secara memanjang dan melintang dan dirancang untuk mencegah kerusakan (collapse) pelat akibat berbagai beban (loads) yang bekerja padanya. Pelat alas dan sisi kapal terdiri dari sejumlah pelat datar dan pelat lengkung yang dilas secara bersamaan. Sambungan pengelasan vertikal dinamakan ‘butts’ dan horizontal dinamakan ‘seams’ (Gambar 5.1). Elemen-elemen penguat memanjang dan melintang dilas ke pelat kulit secara kontinyu sampai ke ujung-ujung elemen penguat tersebut. Pengelasan yang kontinyu dari elemen-elemen penguat ke pelat kulit ditemui di ceruk buritan, pelat alas di bagian 30% panjang di depan kapal dan di tempat dimana digunakan baja tegangan tinggi. Gading diberi lobang (notched) pada jalur las.



Gambar 5.1 Pelat Kulit (Shell Plating)

### A. Defenisi (BKI–Rules for Hull 2014)

$k$	–	material factor according to Section 2, B.2.
$P_b, P_{bi}$	–	load on bottom [ $\text{kN/m}^2$ ] according to Section 4, B.3.
$P_s, P_{si}$	–	load on sides [ $\text{kN/m}^2$ ] according to Section 4, D.2.1
$P_b$	–	design pressure for the bow area [ $\text{kN/m}^2$ ] according to Section 4, B.2.2 or according to Section 4, B.2.3 for the stern areas as the case may be
$P_{st}$	–	design slamming pressure [ $\text{kN/m}^2$ ] according to Section 4, B.4.
$n_t$	–	1,0 for transverse framing 0,83 for longitudinal framing
$\sigma_{LD}$	–	Maximum bottom design hull girder bending stress [ $\text{N/mm}^2$ ] according to Section 5, D.1.
$\sigma_{LS}$	–	maximum design hull girder bending stress in the side shell at the station considered according to Section 5, D.1. [ $\text{N/mm}^2$ ]
$\tau_L$	–	maximum design shear stress due to longitudinal hull girder bending [ $\text{N/mm}^2$ ], according to Section 5, D.1.
$\sigma_{perm}$	–	permissible design stress [ $\text{N/mm}^2$ ] $= \left( 0,8 + \frac{L}{450} \right) \frac{230}{k} \quad [\text{N/mm}^2] \text{ for } L < 90 \text{ m}$ $= \frac{230}{k} \quad [\text{N/mm}^2] \text{ for } L \geq 90 \text{ m}$
$i_E$	–	corrosion addition according to Section 3, K.

## B. Pelat Alas (Bottom Plating).

Jika digunakan pelat lunas rata (flat plate keel) maka sepanjang kapal, lebar dan ketebalan pelat lunas (keel plate) tetap konstant. Ketebalannya tidak pernah kurang dari ketebalan pelat alas yang berhubungan dengannya. Strakes dari pelat alas ke bilga mempunyai ketebalan terbesar melebihi 40 % panjang kapal di sekitar midship dimana terjadi tegangan lenturan terbesar. Kemudian pelat alas mempunyai ketebalan yang berkurang pada ujung-ujung kapal.

### Ketebalan pelat alas untuk kapal dengan $L < 90$ m:

The thickness of the bottom shell plating within  $0,4 L$  amidships is not to be less than :

$$t_{B1} = 1,9 \cdot n_f \cdot a \sqrt{P_B \cdot k} + t_K \quad [\text{mm}]$$

Within  $0,1 L$  forward of the aft end of the length  $L$  and within  $0,05 L$  aft of F.P. the thickness is not to be less than  $t_{B2}$  according to 1.2.

### Ketebalan pelat alas untuk kapal dengan $L \geq 90$ m:

The thickness of the bottom plating is not to be less than the greater of the two following values :

$$\begin{aligned} t_{B1} &= 18,3 \cdot n_f \cdot a \sqrt{\frac{P_B}{\sigma_{Pl}}} + t_K \quad [\text{mm}] \\ t_{B2} &= 1,21 \cdot a \sqrt{P_B \cdot k} + t_K \quad [\text{mm}] \\ \sigma_{Pl} &= \sqrt{\sigma_{perm}^2 - 3 \cdot \tau_L^2} = 0,89 \cdot \sigma_{LB} \quad [\text{N/mm}^2] \end{aligned}$$

*Note :*

As a first approximation  $\sigma_{LB}$  and  $\tau_L$  may be taken as follows:

$$\begin{aligned} \sigma_{LB} &= \frac{12,6 \sqrt{L}}{k} \quad [\text{N/mm}^2] \quad \text{for } L < 90 \text{ m} \\ &= \frac{120}{k} \quad [\text{N/mm}^2] \quad \text{for } L \geq 90 \text{ m} \\ \tau_L &= 0 \end{aligned}$$

### Ketebalan pelat minimum:

At no point the thickness of the bottom shell plating shall be less than :

$$\begin{aligned} t_{\min} &= (1,5 - 0,01 \cdot L) \sqrt{L \cdot k} \quad [\text{mm}] \quad \text{for } L < 50 \text{ m} \\ &= \sqrt{L \cdot k} \quad [\text{mm}] \quad \text{for } L \geq 50 \text{ m} \\ t_{\max} &= 16,0 \text{ mm in general} \end{aligned}$$

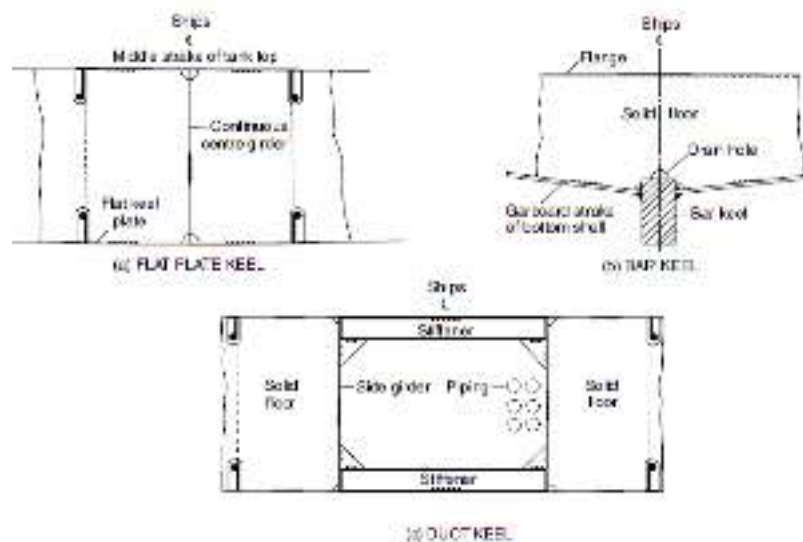
or bulk carriers see Section 23, B.5.3, for tankers see Section 24, A.14.

## C. Bilge Strake

Ketebalan bilge strake harus  $\geq$  bottom plating. Dimensi dan konfigurasi bilge strake lainnya dapat dilihat pada BKI-Rules for Hull 2014.

#### D. Flat Plate Keel and Garboard Strake

Pada centre line dari konstruksi alas terletak lunas, yang sering dikatakan untuk membentuk tulang belakang dari kapal. Lunas secara substansi berkontribusi terhadap kekuatan memanjang dan secara efektif mendistribusikan beban lokal yang disebabkan ketika pengedokan kapal. Bentuk yang paling umum dari lunas adalah yang dikenal sebagai lunas ‘pelat datar’ (‘flat plate’) dan lunas ini kebanyakan dipakai di kapal-kapal pelayaran samudera dan kapal-kapal lainnya (Gambar 5.2-A). Suatu bentuk lunas yang ditemui pada kapal-kapal kecil adalah lunas balok (bar keel) seperti terlihat pada Gambar 5.2-B. Bar keel dapat dipasang pada kapal-kapal ikan trawl, kapal tarik (tugs), kapal-kapal ferry kecil, dll. Jika terjadi kapal kandas (grounding) maka lunas ini cukup dengan ukurannya yang kuat. Satu type keel yang lain adalah ‘Duct Keel’ (Gambar 5.2-C) yang berada dalam alas ganda pada beberapa kapal. Lunas ini berada pada sekat ruang mesin depan s/d ke sekat tubrukan dan digunakan untuk penempatan pipa pada alas ganda.



Gambar 5.2. Lunas Kapal

The width of the flat plate keel is not to be less than:

$$b = 800 + 5 \cdot L \quad [\text{mm}]$$

The thickness of the flat plate keel is not to be less than:

$$\begin{aligned} t_{EK} &= t_B + 2.0 \quad [\text{mm}] \\ &\quad \text{within } 0,7 L \text{ amidships and in way of the engine seating} \\ &= t_B [\text{mm}] \quad \text{otherwise} \end{aligned}$$

$t_B$  = thickness of the bottom plating [mm] according to 1. – 3.

**5.2** For ships exceeding 100 m in length, the bottom of which is longitudinally framed, the flat plate keel is to be stiffened by additional longitudinal stiffeners fitted at a distance of approx. 500 mm from centre line. The sectional area of one longitudinal stiffener should not be less than  $0,2 L$  [cm<sup>2</sup>].

**5.3** Where a bar keel is arranged, the adjacent garboard strake is to have the scantlings of a flat plate keel.

## **E. Pelat Sisi (Side Shell Plating)**

Seperti pada pelat alas, ketebalan pelat sisi dipertahankan pada daerah 40 % panjang midship kapal dan kemudian berkurang menurut aturan pada ujung-ujung kapal. Ketebalan dapat dinaikan pada daerah dimana terjadi gaya geser vertikal, biasanya di daerah sekat-sekat melintang dalam kapal yang mengangkut muatan berat dengan beberapa palkah kosong. Terdapat juga kenaikan ketebalan pada koneksi gading buritan, pada daerah shaft bracket dan pada daerah hawse pipe dimana terjadi beban besar. Pelat strake atas (upper strake) yang berhubungan dengan geladak kekuatan dikenal sebagai 'sheerstrake'. Sheerstrake mempunyai jarak yang besar dari sumbu netral maka ia mempunyai ketebalan lebih besar dari strake lainnya pada pelat sisi kapal.

Untuk posisi yang berada di daerah dengan tegangan yang besar, maka seharusnya menghindari sambungan las pada sheerstrake atau potongan untuk las (cutouts) yang dapat menaikan tegangan. Sisi atas sheerstrake harus dibuat dengan baik dan pengelasan kubu-kubu (bulwarks) pada sisi sheerstrake tidak diijinkan dalam daerah midship kapal. Bukaannya scupper di atas geladak dengan panjang yang sama dan pada ujung-ujung bangunan atas juga dilarang untuk kapal-kapal yang lebih besar. Sambungan antara sheerstrake dan geladak kekuatan dapat menyebabkan masalah dan dapat dipasang besi bulat (rounded gunwale) terhadap masalah ini. Hal ini sering merupakan kasus sepanjang bagian midship untuk tanker dan bulk carrier berukuran besar. Semua bukaan pada pelat sisi harus mempunyai sudut-sudut beradius (rounded corners) dan bukaan-bukaan untuk inlet air laut, dll dihindari di radius bilga jika memungkinkan.

## E.1. Ketebalan Pelat Berdasarkan Kriteria Beban Tegangan

### 1.1 Ships with lengths $L < 90$ m

The thickness of the side shell plating within  $0,4 L$  amidship is not to be less than:

$$t_{S1} = 1,9 \cdot n_L \cdot a \sqrt{p_s \cdot k} + t_K \quad [\text{mm}]$$

Within  $0,1 L$  forward of the aft end of the length  $L$  and within  $0,05 L$  aft of  $F.P.$ , the thickness is not to be less than  $t_{S2}$  according to 1.2.

### 1.2 Ships with lengths $L \geq 90$ m

The thickness of the side shell plating is not to be less than the greater of the following values:

$$t_{S1} = 18,3 \cdot n_L \cdot a \sqrt{\frac{P_b}{\sigma_{Pl}}} + t_K \quad [\text{mm}]$$

$$t_{S2} = 1,21 \cdot a \sqrt{p \cdot k} + t_K \quad [\text{mm}]$$

$$t_{S3} = 18,3 \cdot n_L \cdot a \sqrt{\frac{P_d}{\sigma_{Pmax}}} + t_K \quad [\text{mm}]$$

$$\sigma_{Pl} = \sqrt{\sigma_{perm}^2 - 3 \cdot \tau_L^2} - 0,89 \cdot \sigma_{LS} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\sigma_{Pmax} = \sqrt{\left(\frac{230}{k}\right)^2 - 3 \cdot \tau_L^2} - 0,89 \cdot \sigma_{LS} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$p = p_s \text{ or } p_t \text{ as the case may be}$$

*Note :*

As a first approximation  $\sigma_{LS}$  and  $\tau_L$  may be taken as follows:

$$\sigma_{LS} = 0,76 \cdot \sigma_{LS} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\tau_L = \frac{55}{k} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\sigma_{LS} = \text{see B.1.2.}$$

### 1.3 In way of large shear forces, the shear stresses are to be checked in accordance with Section 5.D.

## E.2. Ketebalan Minimum

For the minimum thickness of the side shell plating B.3. applies accordingly.

Above a level  $T + c_0/2$  above base line smaller thicknesses than  $t_{min}$  may be accepted if the stress level permits such reduction.

For  $c_0$  see Section 4, A.2.2.

At no point the thickness of the bottom shell plating shall be less than :

$$t_{min} = (1,5 - 0,01 \cdot L) \sqrt{L \cdot k} \quad [\text{mm}] \quad \text{for } L < 50 \text{ m}$$

$$= \sqrt{L \cdot k} \quad [\text{mm}] \quad \text{for } L \geq 50 \text{ m}$$

$$t_{max} = 16,0 \text{ mm in general}$$

or bulk carriers see Section 23, B.5.3, for tankers see Section 24, A.14.



### E.3. Sheerstrake

3.1 The width of the sheerstrake is not to be less than:

$$b = 800 + 5 \cdot L \quad [\text{mm}]$$

$$b_{\text{max}} = 1800 \quad [\text{mm}]$$

3.2 The thickness of the sheerstrake shall, in general, not be less than the greater of the following two values:

$$t = 0,5 (t_D + t_S) \quad [\text{mm}]$$

$$= t_S \quad [\text{mm}]$$

$t_D$  = required thickness of strength deck

$t_S$  = required thickness of side shell.

3.3 Where the connection of the deck stringer with the sheerstrake is rounded, the radius is to be at least 15 times the plate thickness.

3.4 Welds on upper edge of sheerstrake are subject to special approval.

Regarding welding between sheerstrake and deck stringer see Section 7, A.2.

Holes for scuppers and other openings are to be carefully rounded, any notches shall be avoided.

### E.4. Side Plating Bangunan Atas (Superstructures)

Penentuan side plating superstructures adalah sama dengan pelat sisi (side plating). Perbedaan utama terletak pada tekanan lokal, tegangan dan parameter terkait lainnya. Sedangkan side plating untuk non-effective superstructures ditentukan sesuai Section 16 dari BKI-Rules for Hull 2014 Vol II.

#### 1. Definitions

1.1 A superstructure is a decked structure on the freeboard deck extending from side to side of the ship or with the side plating not being inboard of the shell plating more than 0,04 B.

1.2 A deckhouse is a decked structure above the strength deck the side plating being inboard of the shell plating more than 0,04 B.

1.3 A long deckhouse is a deckhouse the length of which within 0,4 L amidships exceeds 0,2 L or 12 m, where the greater value is decisive. The strength of a long deckhouse is to be specially considered.

1.4 A short deckhouse is a deckhouse not covered by the definition given in 1.3.

1.5 Superstructures extending into the range of 0,4 L amidships and the length of which exceeds 0,15 L are defined as effective superstructures. Their side plating is to be treated as shell plating and their deck as strength deck (see Sections 6 and 7).

1.6 All superstructures being located beyond 0,4 L amidships or having a length of less than 0,15 L or less than 12 metres are, for the purpose of this Section, considered as non-effective superstructures.

1.7 For deckhouses of aluminium, Section 2, D. is to be observed. For the use of non-magnetic material in way of the wheel house, see Section 14, A.1.4.

1.8 Scantlings of insulated funnels are to be determined as for deckhouses.

Bila ditinjau dari segi konstruksi, bangunan atas dapat dibedakan menjadi bangunan atas yang efektif dan bangunan atas yang tidak efektif. Bangunan atas yang efektif adalah semua bangunan atas yang terletak di atas geladak menerus teratas, membentang sampai daerah  $0,4 L$  bagian tengah kapal, dan panjangnya melebihi  $0,15 L$  (Gambar 5.3). Dalam kaitan ini, pelat kulit lambung harus diteruskan sampai ke geladak bangunan atas, sehingga pelat sisi bangunan atas ini dapat diperlakukan sebagai pelat kulit dengan geladak sebagai geladak kekuatan.

Disebut bangunan atas yang tidak efektif, jika terletak di luar  $0,4 L$  bagian tengah kapal atau mempunyai panjang kurang dari  $0,15 L$  atau kurang dari 12 m. Persyaratan lain dari bangunan atas adalah bangunan tersebut harus mempunyai lebar, selebar kapal setempat. Selain bangunan atas, kapal mempunyai bangunan lain yang disebut rumah geladak. Disebut rumah geladak karena bangunan ini terletak di luar  $0,4 L$  bagian tengah kapal atau mempunyai panjang lebih kecil dari  $0,2 L$  atau 15 m dan sisi-sisinya tidak selebar kapal. Bangunan ini diletakkan paling sedikit 1,6 kali jarak normal gading-gading ( $a_0$ ). Bangunan atas yang terletak di bagian haluan kapal dinamakan akil, di bagian tengah disebut anjungan, dan di belakang disebut kimbul. Prosentase penambahan penguat pada bangunan atas dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Bagian efektif kapal

Jenis Bangunan	Lokasi Sekat Ujung	Penguatan dalam %	
		Geladak Kekuatan dan Pelat Lajur Atas	Pelat sisi Bangunan Atas
Efektif	Dalam batas $0,4 L$ bagian tengah kapal	50	25
	Antara $0,4$ s/d $0,5 L$ bagian tengah kapal	30	20
Tidak efektif	Dalam batas $0,4 L$ bagian tengah kapal	25	10
	Antara $0,4 L$ dan $0,5 L$ bagian tengah kapal	20	10



Gambar 5.3. Panjang efektif kapal

## F. Bukaannya Pada Pelat Kulit

Dimana terdapat bukaan pada pelat kulit untuk jendela atau side scuttles, hawses, scuppers, katup-katup laut dsb, maka bukaan tersebut harus mempunyai sudut-sudut bulat (rounded corners). Jika bukaan tersebut mempunyai lebar lebih dari 500 mm pada kapal-kapal dengan panjang sampai  $L = 70$  m dan 700 mm pada kapal-kapal dengan panjang  $L > 70$  m maka bukaan-bukaan tersebut diperkuat dengan frame, pelat lebih tebal atau pelat ganda. Untuk bukaan pada daerah sheerstrake dalam daerah  $0,4 L$  di midship, umumnya dipasang pelat penguat atau pelat ganda yang kontinyu untuk kompensasi pelat yang hilang akibat bukaan tersebut. Hal yang sama untuk pintu-pintu pada pelat kulit dan bukaan besar lainnya pada bangunan atas maka dilakukan penguatan khusus. Juga pelat kulit pada daerah hawse pipes harus diperkuat.

Untuk dimensi elemen struktur bow doors, inners doors, side sheel doors, dan stern doors dapat dilihat pada BKI-Rules for Hull 2014 Vol II, Section.

## G. Kubu-Kubu (Bulwarks).

1. The thickness of bulwark plating is not to be less than :

$$t = \left[ 0,75 - \frac{L}{1000} \right] \sqrt{L} \quad [\text{mm}] \quad \text{for } L \leq 100 \text{ m}$$
$$= 0,65 \cdot \sqrt{L} \quad [\text{mm}] \quad \text{for } L > 100 \text{ m}$$

**L** need not be taken greater than 200 m. The thickness of bulwark plating forward particularly exposed to wash of sea is to be equal to the thickness of the forecastle side plating according to Section 16, H.I.

In way of superstructures above the freeboard deck abaft  $0,25 L$  from **F.P.** the thickness of the bulwark plating may be reduced by 0,5 mm.

2. The bulwark height or height of guard rail is not to be less than 1,0 m, the lesser height may be approved if adequate protection is provided.
3. Plate bulwarks are to be stiffened at the upper edge by a bulwark rail section.
3. Plate bulwarks are to be stiffened at the upper edge by a bulwark rail section.
4. The bulwark is to be supported by bulwark stays fitted at every alternate frame. Where the stays are designed as per Fig. 6.5, the section modulus of their cross section effectively attached to the deck is not to be less than:

$$W = 4 \cdot p \cdot e \cdot t^2 \quad [\text{cm}^3]$$

$p$  =  $p_s$  or  $p_t$  as the case may be

$p_{min}$  = 15 kN/m<sup>2</sup>

$e$  = spacing of stays [m]

$t$  = length of stay [m]

The dimension for calculation of  $W$  are to be taken vertical of the plating starting from the base of the stays.



## H. Penguatan Pelat Kulit

### E. Strengthening of Bottom Forward

#### 1. Arrangement of floors and girders

1.1 For the purpose of arranging floors and girders the following areas are defined:

- forward of  $\frac{x}{L} = 0,7$  for  $L \leq 100$  m
- forward of  $\frac{x}{L} = 0,6 + 0,001 \cdot L$  for  $100 < L \leq 150$  m
- forward of  $\frac{x}{L} = 0,75$  for  $L > 150$  m

1.2 In case of transverse framing, plate floors are to be fitted at every frame. Where the longitudinal framing system or the longitudinal girder system is adopted the spacing of plate floors may be equal to three transverse frame spaces.

1.3 In case of transverse framing, the spacing of side girders is not to exceed  $L/250 + 0,9$  [m], up to a maximum of 1,4 m. In case of longitudinal framing, the side girders are to be fitted not more than two longitudinal frame spacings apart.

1.4 Distances deviating from those defined in 1.2 and 1.3 may be accepted on the basis of direct calculations.

1.5 Within the areas defined in 1.1 any scalloping is to be restricted to holes for welding and for limbers.

#### 2. Bottom plating forward of $\frac{x}{L} = 0,5$

2.1 The thickness of the bottom plating of the flat part of the ship's bottom up to a height of  $0,05 \cdot T_b$  or 0,3 m above base line, whichever is the smaller value, is not to be less than:

$$t = 0,9 \cdot f_2 \cdot a \cdot \sqrt{p_{SL} \cdot k} + t_K \quad [\text{mm}]$$

$T_b$  = smallest design ballast draft at the forward perpendicular [m].

$f_2$  = see Section 3. A.3.

2.2 Above  $0,05 T_b$  or 0,3 m above base line the plate thickness may gradually be tapered to the rule thickness determined according to B. For ships with a rise of floor the strengthened plating shall at least extend to the bilge curvature.

#### 3. Stiffeners forward of $\frac{x}{L} = 0,5$

3.1 The section modulus of transverse or longitudinal stiffeners is not to be less than:

$$W = 0,155 \cdot p_{SL} \cdot a \cdot l^2 \cdot k \quad [\text{cm}^3],$$

3.2 The shear area of the stiffeners is not to be less than:

$$A = 0,028 \cdot p_{SL} \cdot a \cdot (l - 0,5 \cdot a) \cdot k \quad [\text{cm}^2].$$

The area of the welded connection has to be at least twice this value.

## F. Strengthenings in Way of Propellers and Propeller Shaft Brackets, Bilge Keels

### 1. Strengthenings in way of propellers and propeller brackets

#### 1.1 The thickness of the shell plating in way of propellers is to be determined according to C.

#### Note

*It is recommended that plate fields and stiffeners of shell structures in the vicinity of the propeller(s) be specially considered from a vibration point of view (see also Section 8, A.1.2.1 and Section 12, A.8). For vessels with a single propeller, plate fields and stiffeners within  $d_p - 3$  should fulfil the following frequency criteria:*

$$\text{for } \alpha \geq 60^\circ: \quad f_{plate} > \frac{4,6}{d_p} \cdot f_{blade}$$

$$f_{stiff} > \frac{4,6}{d_p} \cdot f_{blade}$$

$$\text{for } \alpha < 60^\circ: \quad f_{plate} > \frac{2,3}{d_p} \cdot f_{blade}$$

$\alpha$  = flare angle of frame section in propeller plane measured between a vertical line and the tangent to the bottom shell plating

$f_{plate}$  = lowest natural frequency of isotropic plate field under consideration of additional outfitting and hydrodynamic masses [Hz]

$f_{stiff}$  = lowest natural frequency of stiffener under consideration of additional outfitting and hydrodynamic masses [Hz]

$d_p$  = ratio  $\frac{r}{d_p} \geq 1,0$

$r$  = distance of plate field or stiffener to 12 o'clock propeller blade tip position [m]

$d_p$  = propeller diameter [m]

$f_{blade}$  = propeller blade passage excitation frequency at  $n$  [Hz]

$$= \frac{1}{60} \cdot n \cdot z [\text{Hz}]$$

$n$  = maximum propeller shaft revolution rate [1/min]

$z$  = number of propeller blades

#### 1.2 In way of propeller shaft brackets, Section 19, B.4.3 has to be observed

1.3 Where propeller revolutions are exceeding 300 rpm (approx.), particularly in case of flat bottoms intercostal carlings are to be fitted above or forward of the propeller in order to reduce the size of the bottom plate panels (see also Section 8, A.1.2.3.4).

## **2. Bilge keels**

**2.1** Where bilge keels are provided they are to be welded to continuous flat bars, which are connected to the shell plating with their flat side by means of a continuous watertight welded seam, see bottom of Fig. 6.1.

**2.2** The ends of the bilge keels are to have soft transition zones according to Fig. 6.1, top. The ends of the bilge keels shall terminate above an internal stiffening element.

**2.3** Any scallops or cut-outs in the bilge keels are to be avoided.

## **G. Openings in the Shell Plating**

### **1. General**

**1.1** Where openings are cut in the shell plating for windows or side scuttles, hawses, scuppers, sea valves etc., they are to have well rounded corners. If they exceed 500 mm in width in ships up to  $L = 70$  m, and 700 mm in ships having a length  $L$  of more than 70 m, the openings are to be surrounded by framing, a thicker plate or a doubling.

**1.2** Above openings in the sheerstrake within  $0,4 L$  amidships, generally a strengthened plate or a continuous doubling is to be provided compensating the omitted plate sectional area. For shell doors and similar large openings see J. Special strengthening is required in the range of openings at ends of superstructures.

**1.3** The shell plating in way of the hawse pipes is to be reinforced.

### **2. Pipe connections at the shell plating**

Scupper pipes and valves are to be connected to the shell by weld flanges. Instead of weld flanges short flanged sockets of adequate thickness may be used if they are welded to the shell in an appropriate manner. Reference is made to Section 21, D.

Construction drawings are to be submitted for approval.

## V.6. Penguatan Elemen Konstruksi Haluan dan Buritan

Penguatan elemen konstruksi haluan dijelaskan pada sub-bagian IV.6 dan ditunjukkan pada Gambar 4.17.

## BAB VI. KOMPONEN BERAT KAPAL DAN DISTRIBUSINYA

### VI.1. Komponen Berat Kapal

Sebagai pendekatan untuk perhitungan maka berat total kapal terdiri dari komponen berat berikut ini (Parsons, 2003):

$$\text{Berat total kapal} = \Delta = W_{LS} + DWT_T$$

dimana:  $W_{LS}$  = berat kapal kosong (lightship weight)

$DWT_T$  = bobot mati (total deadweight)

Berat kapal kosong selanjutnya dibagi atas komponen berat berikut ini:

$$W_{LS} = W_S + W_M + W_O + W_{margin}$$

dimana:  $W_S$  = berat struktur kapal

$W_M$  = berat komponen motor induk dan sistim propulsi kapal

$W_O$  = berat perlengkapan (outfit and hull engineering) kapal

$W_{margin}$  = berat margin kapal kosong. Komponen ini dicadangkan untuk komponen berat kapal kosong yang tidak terhitung selama proses desain kapal. Untuk kapal-kapal komersial, komponen ini sekitar 3% s/d 5% dari berat total kapal kosong.

Berat bobot mati kapal selanjtnya dibagi atas:

$$DWT_T = DWT_C + W_{FO} + W_{LO} + W_{FW} + W_{C\&E} + W_{PR}$$

dimana:

$DWT_C$  = berat muatan (cargo deadweight) atau penumpang (passenger) & bagasi

$W_{FO}$  = berat bahan bakar (fuel oil)

$W_{LO}$  = berat minyak pelumas (lube oil)

$W_{FW}$  = berat air tawar (fresh water)

$W_{C\&E}$  = berat ABK & bawaannya (crew and their effects)

$W_{PR}$  = berat provisi (provisions)

Catatan:

1. Komponen berat bobot mati kapal, terutama berat muatan, tergantung dari type kapal, seperti: kapal barang = berat muatan, kapal penumpang = berat penumpang dan bagasi, kapal kontainer = berat kontainer, dsb..
2. Jika kapal-kapal jenis tertentu (misalnya kapal penumpang) mengangkut air ballast untuk tujuan stabilitas maka berat air ballast harus dimasukan sebagai komponen berat.
3. Komponen berat bobot mati dihitung pada saat kapal berangkat (departure condition) dalam kondisi muatan penuh. Jika kapal dalam kondisi kosong dan dimasukan air ballast untuk tujuan stabilitas dan pengetriman kapal maka komponen air ballast tersebut tidak dihitung sebagai komponen berat.

Untuk perhitungan komponen berat pada mata kuliah ini maka komponen berat struktur dihitung secara detail (“pendekatan”). Penjelasan untuk beberapa komponen berat kapal kosong adalah sebagai berikut:

- Untuk berat komponen struktur kapal  $W_s$ , semua komponen berat dihitung secara detail per spasi teoritis kapal
- Untuk berat komponen motor induk dan sistim propulsi kapal  $W_M$ , maka setiap komponen berat dihitung berdasarkan spesifikasi komponen serta perhitungan-perhitungan langsung dari dimensi komponen lainnya.
- Untuk komponen berat perlengkapan (outfit and hull engineering) kapal  $W_O$ , maka setiap komponen berat dihitung berdasarkan spesifikasi komponen tersebut atau pendekatan perhitungan lainnya.
- Untuk berat margin kapal kosong  $W_{margin}$ , maka berat komponen ini digabungkan ke dalam komponen berat kapal kosong.

## **VI.2. Distribusi Komponen Berat Kapal.**

Penyebaran komponen berat kapal dimaksudkan untuk memperoleh distribusi berat per spasi teoritis. Hal ini pada gilirannya ketika dikurangi dengan buoyancy per spasi teoritis maka diperoleh beban (load) dari kapal per spasi. Selanjutnya dalam perhitungan ini dievaluasi pula posisi titik berat kapal untuk ketiga posisi, yaitu:

- Letak titik tekan memanjang (longitudinal centre of gravity = LCG), untuk mengetahui kondisi trim kapal.
- Letak titik tekan vertikal (vertical centre of gravity = VCG), untuk mengetahui tinggi metasenter kapal (dalam penentuan VCG), maka ditambahkan margin VCG sebesar 15% terhadap VCG berat kapal kosong.
- Letak titik tekan melintang (transverse centre of gravity = TG), untuk mengetahui kondisi hell kapal.

Penyebaran komponen berat kapal dihitung untuk tiap satu komponen berat secara detail dan tersendiri sebelum dimasukkan ke perhitungan berat total kapal. Contoh perhitungan berat satu komponen kapal (misalnya berat struktur kapal atau berat mesin induk atau komponen sistim propulsi) terlihat pada Tabel 6.1. Sedangkan gabungan komponen berat, misalnya seperti komponen berat kapal kosong (Lightship weight) maka komponen beratnya dikoleksi dari tiap berat satu komponen. Contoh perhitungan terlihat pada Tabel 6.2 dan 6.3.

Tabel 6.1. Distribusi Komponen Berat Kapal (Single)

Data Kapal: .....								
Frame spacing $\Delta L = LBP/20$ (m)								
Spasi	Berat (ton)	Lengan Momen	LCG (m) $= \Delta L * (3)$	VCG (m)	TCG (m)	W x LCG (ton.m) $= (2) * (4)$	W x VCG (ton.m) $= (2) * (5)$	W x TCG (ton.m) $= (2) * (6)$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
0-1		-9,5						
1-2		-8,5						
2-3		-7,5						
3-4		-6,5						
4-5		-5,5						
5-6		-4,5						
6-7		-3,5						
7-8		-2,5						
8-9		-1,5						
9-10		-0,5						
10-11		0,5						
11-12		1,5						
12-13		2,5						
13-14		3,5						
14-15		4,5						
15-16		5,5						
16-17		6,5						

17-18		7,5						
18-19		8,5						
19-20		9,5						
	SUM (2) =					SUM (7) =	SUM (8) =	SUM (9) =
	LCG = SUM (7)/SUM (2)    VCG = SUM (8)/SUM (2)    TCG = SUM (9)/SUM (2)							

Tabel 6.2. Distribusi Komponen Berat Struktur

No	Item Berat	Spasi					Total W (ton)	L <sub>CG</sub> fr MS (m)	V <sub>CG</sub> fr BL (m)	T <sub>CG</sub> fr CL (m)	W*L <sub>CG</sub> ton.m	W*V <sub>CG</sub> ton.m	W*T <sub>CG</sub> ton.m
		0-1	1-2	.....	18-19	19-20							
(1)	(2)	(3)	(4)		(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)
1	Keel Plate												
2	Bottom Plate												
	.....												
	Structure Relates												
							SUM(23)				SUM(27)	SUM(28)	SUM(29)

$$LCG = \text{SUM}(27)/\text{SUM}(23) \quad VCG = \text{SUM}(28)/\text{SUM}(23) \quad TCG = \text{SUM}(29)/\text{SUM}(23)$$

Tabel 6.3. Distribusi Komponen Berat Total Kapal

No	Item Berat	Spasi					Total W (ton)	L <sub>CG</sub> fr MS (m)	V <sub>CG</sub> fr BL (m)	T <sub>CG</sub> fr CL (m)	W*L <sub>CG</sub> ton.m	W*V <sub>CG</sub> ton.m	W*T <sub>CG</sub> ton.m
		0-1	1-2	.....	18-19	19-20							
(1)	(2)	(3)	(4)		(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)
1	LWT												
2	DWT (tanpa liquids)												
3	Liquids												
	Fuel Oil / lube oil												
	Fresh Water												
	Black water												
4	Total berat per spasi						SUM(23)				SUM(27)	SUM(28)	SUM(29)

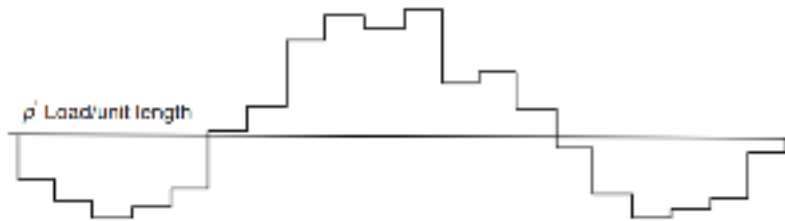
$$LCG = \text{SUM}(27)/\text{SUM}(23) \quad VCG = \text{SUM}(28)/\text{SUM}(23) \quad TCG = \text{SUM}(29)/\text{SUM}(23)$$

## BAB VII. PERHITUNGAN GAYA GESER DAN MOMEN LENTUR KAPAL

### VII.1. Perhitungan Gaya Geser dan Momen Lentur di Air Tenang

Perhitungan gaya geser dan momen lentur dilakukan dengan menghitung penyebaran beban (load) sepanjang kapal. Pembebanan (load) merupakan selisih dari distribusi gaya buoyancy dan gaya berat di sepanjang kapal (Gambar 7.1), dimana:

$$\text{Load} = \text{weight} - \text{buoyancy}$$



Gambar 7.1. Kurva beban,  $p'$

Hubungan antara gaya geser / shearing force ( $S$  atau SF) dan momen lentur / bending moment ( $M$  atau BM) terhadap  $p'$  dinyatakan dengan hubungan berikut ini:

$$S = \int p' dx \quad \text{and} \quad M = \int S dx$$

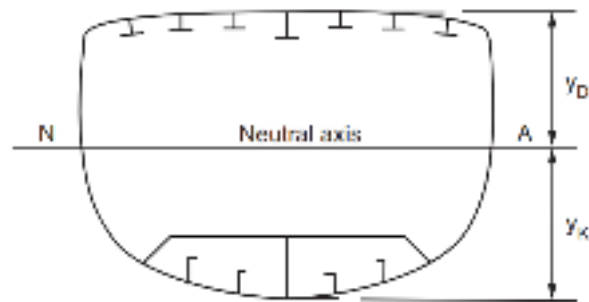
Dimana  $x$  adalah posisi sepanjang kapal yang dihitung gaya geser dan momen lentur.

Tegangan (stress) yang bekerja pada penampang kapal akibat pengaruh bending moment dihitung sebagai berikut:

$$\text{stress } \sigma = \frac{M}{I/y}$$



Dimana  $I/y$  merupakan modulus penampang bagian struktur kapal yang ditinjau (Gambar 7.2).



Gambar 7.2. Struktur penampang sederhana

Salah satu Aplikasi Software yang dapat digunakan dalam perhitungan gaya geser (shearing force) dan momen lentur (bending moment) ialah Maxsurf. Untuk aplikasi dengan Maxsurf maka pembebanan (load) pada kapal harus disesuaikan dengan format Maxsurf yang dimintakan. Hal ini terutama berkaitan dengan posisi serta kapasitas dari tangki-tangki muatan cairan tersebut. Dalam penentuan load maka posisi dan kapasitas tangki cairan perlu ditentukan, seperti terlihat pada contoh Tabel 7.1 berikut ini.

Tabel 7.1: Posisi Tangki Cairan di Kapal

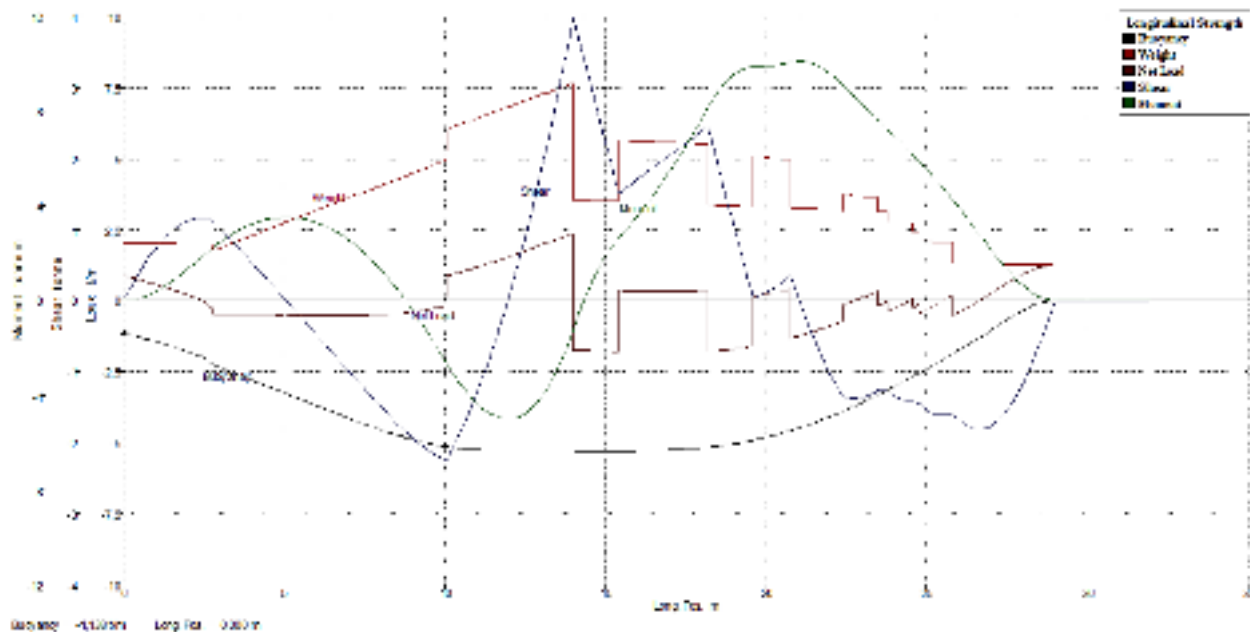
No	Nama tangki (Permeability 95%)	Type cairan	Posisi tangki (m)					
			L. Aft	L. Fwd	Port	Starb.	Top	Bottom
1	Tangki Bahan Bakar	Fuel oil	15.41	18.19	-1.312	1.312	1.166	0.000
2	Tangki Air Tawar	Fr. water	19.61	20.76	-0.875	0.875	1.236	0.000
3	Tangki Air Limbah	Fr. water	22.40	23.50	-0.875	0.875	0.567	0.000

Contoh perhitungan Gaya Geser dan Momen Lentur pada air tenang dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Gambar 5.1.

Table 5.5: Gaya Geser dan Momen Lentur pada kondisi air tenang

Station	Long. Pos. (m)	Buoyan cy (t/m)	Weight (t/m)	Net Load (t/m)	S.F (t)	B.M (t.m)	S.F (kN)	B.M (kN.m)	Corr. SF (t)	Corr. BM (t.m)
st 0					0	0	0	0	0	0
st 1	1.46	1.60	2.01	0.41	0.96	0.78	9.59	7.75	9.59	7.74
st 2	2.91	2.32	1.82	-0.50	1.07	2.39	10.71	23.87	10.71	23.86
st 3	4.37	2.96	2.46	-0.50	0.35	3.41	3.47	34.13	3.47	34.11
st 4	5.83	3.61	3.10	-0.51	-0.39	3.38	-3.86	33.78	-3.86	33.75
st 5	7.29	4.25	3.74	-0.51	-1.13	2.26	-11.34	22.63	-11.34	22.59
st 6	8.74	4.81	4.39	-0.42	-1.83	0.08	-18.32	0.81	-18.32	0.77
st 7	10.20	5.17	6.09	0.92	-2.13	-2.96	-21.29	-29.58	-21.29	-29.63
st 8	11.66	5.28	6.70	1.42	-0.45	-4.93	-4.47	-49.30	-4.47	-49.36

st 9	13.11	5.29	7.30	2.01	2.05	-3.88	20.48	-38.76	20.48	-38.83
st 10	14.57	5.30	3.54	-1.76	3.00	0.77	29.99	7.66	29.99	7.59
st 11	16.03	5.29	5.64	0.34	1.72	3.65	17.23	36.49	17.23	36.41
st 12	17.48	5.22	5.56	0.34	2.21	6.51	22.12	65.09	22.12	65.00
st 13	18.94	5.05	3.34	-1.71	1.15	9.50	11.48	95.01	11.48	94.91
st 14	20.40	4.70	5.02	0.32	0.22	9.98	2.23	99.81	2.23	99.71
st 15	21.86	4.15	3.21	-0.94	-0.90	9.74	-9.03	97.35	-9.03	97.24
st 16	23.31	3.40	3.65	0.25	-1.31	7.87	-13.08	78.67	-13.08	78.55
st 17	24.77	2.54	2.42	-0.12	-1.45	5.90	-14.48	58.98	-14.48	58.85
st 18	26.23	1.59	1.32	-0.27	-1.76	3.55	-17.60	35.54	-17.60	35.41
st 19	27.68	0.54	1.28	0.74	-1.43	1.05	-14.26	10.45	-14.26	10.31
st 20	29.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.15	0.00	0.00
SUM		73.069	72.580	-0.489				Max =	29.99	99.71
					Selisih		0	0.150	%	



Gambar 5.1. Gaya Geser dan Momen Lentur Pada Kondisi Air Tenang

### V.3. Perhitungan Gaya Geser dan Momen Lentur di Air Bergelombang

Kapal sewaktu beroperasi di perairan bergelombang terjadi perubahan distribusi buoyancy sepanjang lambung kapal. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh profil gelombang yang merambat pada lambung kapal. Kondisi ini tergantung dari dimensi panjang kapal serta dimensi panjang dan tinggi gelombang. Kapal sewaktu beroperasi maka distribusi berat yang tersebar sepanjang lambung kapal adalah konstant. Sementara itu distribusi buoyancy berubah menurut pola gelombang. Oleh sebab itu maka terjadi perubahan gaya geser dan momen lentur pada seluruh lambung kapal. Kondisi ini pada gilirannya mempengaruhi perubahan tegangan pada seluruh lambung kapal.

Kondisi yang paling kritis terjadi jika panjang kapal ( $L_{wl}$ ) = panjang gelombang ( $L_{wave}$ ). Profil suatu gelombang (menurut panjang gelombang) terdiri dari puncak dan lembah gelombang. Kondisi yang paling kritis terjadi jika bagian tengah lambung kapal (midship) berada pada puncak gelombang (hogging) atau midship kapal terjadi pada lembah gelombang (sagging). Pada kondisi ini maka terjadi tegangan kapal (tarik atau tekan) pada lapisan material kapal di lokasi terjauh dari sumbu netral penampang kapal. Dengan demikian maka tegangan tarik atau tekan harus dievaluasi pada lokasi ini dan beberapa bagian yang lemah dari struktur kapal.

Untuk perhitungan gaya geser dan momen lentur pada kondisi air bergelombang maka ditentukan lebih dahulu profil gelombang. Beberapa point penting ini dipakai dalam penentuan profil gelombang, yaitu:

- Panjang gelombang,  $\lambda = L_{wave} = \text{panjang garis air kapal } L_{wl}$
- Tinggi gelombang ditentukan menurut beberapa rumus pendekatan,  $h_{wave} = L_{wl}/20$

$$h_{wave} = L/(15+(L/20)) \text{ untuk kapal-kapal semi-displasemen.}$$

- Bentuk profil gelombang adalah sinusoidal.

Profil gelombang untuk kondisi hogging dan sagging ini selanjutnya diplot pada Kurva Bonjean untuk memperoleh distribusi buoyancy kapal. Dan dari sini selanjutnya dihitung pembebanan kapal (load), gaya geser dan momen lentur. Cara lainnya ialah dengan menggunakan aplikasi software Maxsurf untuk perhitungan load, gaya geser dan momen lentur. Contoh hasil perhitungan gaya geser dan momen lentur di air bergelombang terlihat pada Tabel 5.6 dan 5.7 serta Gambar 5.2 dan 5.3.

### 3.2 Ship in a seaway

Natural seaway is irregular and described by *Spectra* which can be interpreted as a superposition of regular elementary waves of different amplitude, length and direction. Basics of ship seakeeping and spectra can be found in *Bertram (2000)*.

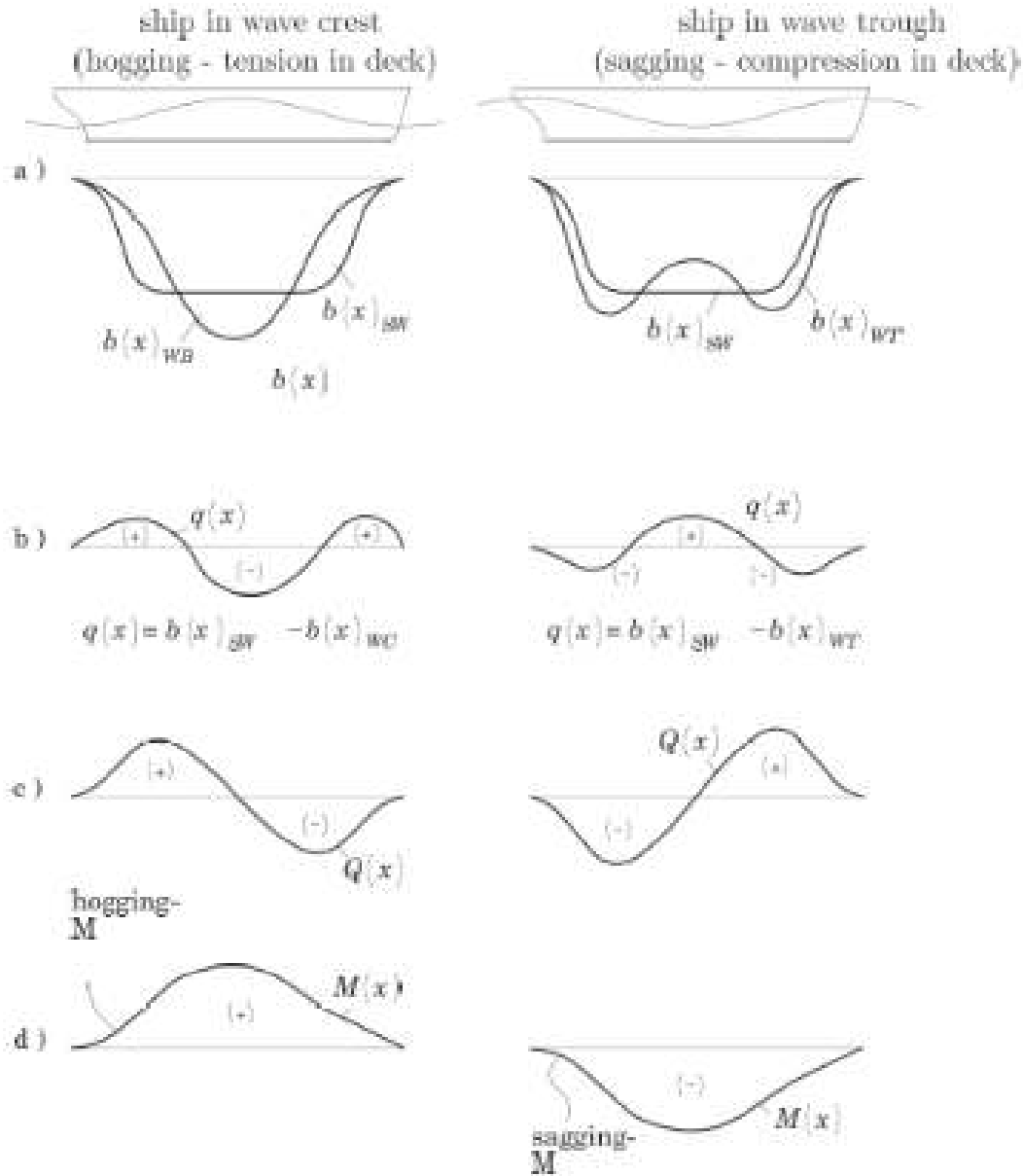


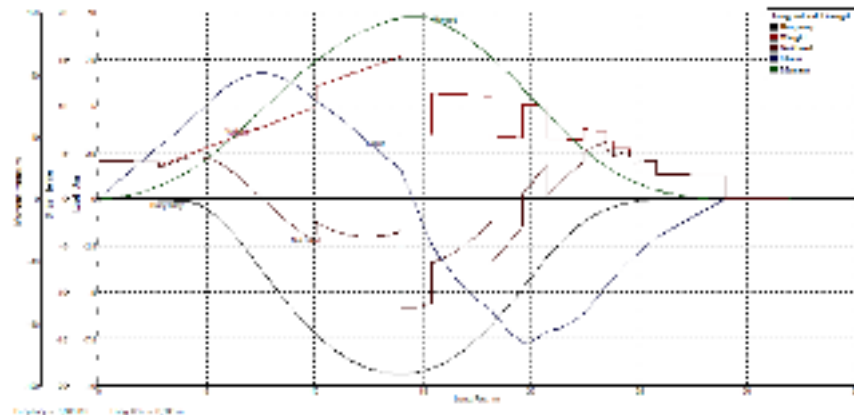
Fig.3.8: Bending moments and transverse forces in seaway

$b(x)$  = buoyancy distribution;  $M$  = additional moment due to hogging/sagging

Here we consider for general understanding only the effect of a *sinusoidal regular wave* of same length as the ship length ( $\lambda = L$ ). The largest bending moments occur near this wave length. The computation is performed *quasi-static*. The ship is then put in the wave in such a way that it is in equilibrium for trim and sinkage. The computation of the internal forces follows in principle the same way as for still water. The section areas are taken from a section area curve (or computed from a CAD description) for the appropriate local draft in the wave. The difference in transverse forces and bending moments with respect to the still-water case are computed from the difference lift distribution between still water and wave integrating again over the ship length. These difference internal forces are then superposed to the still-water internal forces.

Tabel 5.6: Contoh Perhitungan Gaya Geser dan Momen Lentur Pada Kondisi Hogging

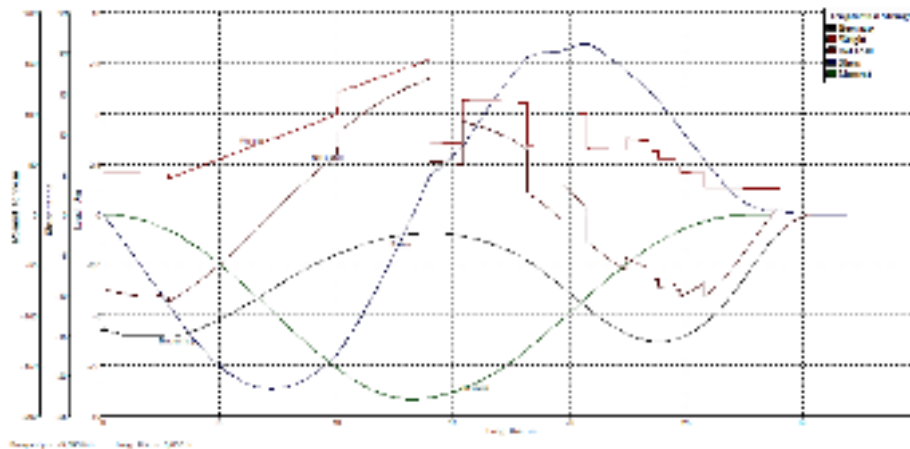
Station	Long. pos. (m)	Buoyancy (t/m)	Weight (t/m)	Net Load (t/m)	SF (t)	BM (t.m)	SF (kN)	BM (kN.m)	Corr. SF (t)	Corr. BM (t.m)
st 0					0	0	0	0	0	0
st 1	1.46	0.00	2.01	2.01	2.94	2.32	29.39	23.24	29.39	23.41
st 2	2.91	0.10	1.82	1.72	5.80	8.90	58.04	89.02	58.04	89.37
st 3	4.37	0.19	2.46	2.27	8.75	19.58	87.47	195.78	87.47	196.30
st 4	5.83	1.34	3.10	1.76	11.83	34.84	118.29	348.37	118.29	349.06
st 5	7.29	3.40	3.74	0.34	13.43	53.67	134.33	536.68	134.33	537.55
st 6	8.74	5.59	4.39	-1.21	12.78	73.21	127.77	732.12	127.77	733.16
st 7	10.20	7.42	6.09	-1.33	10.24	90.27	102.39	902.68	102.39	903.89
st 8	11.66	8.65	6.70	-1.95	7.78	103.68	77.82	1036.82	77.82	1038.21
st 9	13.11	9.29	7.30	-1.98	4.85	113.07	48.50	1130.68	48.50	1132.24
st 10	14.57	9.34	3.54	-5.80	-0.13	117.67	-1.30	1176.66	-1.30	1178.40
st 11	16.03	8.78	5.64	-3.14	-6.97	112.03	-69.67	1120.26	-69.67	1122.17
st 12	17.48	7.55	5.56	-1.99	-10.78	99.08	-107.77	990.75	-107.77	992.83
st 13	18.94	5.77	3.34	-2.43	-14.10	81.40	-141.00	813.99	-141.00	816.25
st 14	20.40	3.63	5.02	1.39	-14.77	59.72	-147.66	597.23	-147.66	1196.89
st 15	21.86	1.79	3.21	1.42	-13.30	39.49	-132.96	394.88	-132.96	397.48
st 16	23.31	0.66	3.65	2.99	-9.88	22.47	-98.80	224.65	-98.80	227.43
st 17	24.77	0.15	2.42	2.28	-6.20	11.04	-62.00	110.35	-62.00	113.30
st 18	26.23	0.00	1.32	1.32	-3.58	4.23	-35.75	42.34	-35.75	45.46
st 19	27.68	0.00	1.28	1.28	-1.68	0.59	-16.82	5.88	-16.82	9.18
st 20	29.14	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.35	0.00	-3.47	0.00	0.00
SUM		73.63	72.58	-1.05				Max =	147.66	1196.89
					Selisih		0	-0.295	%	



Gambar 5.2. Contoh Perhitungan Gaya Geser dan Momen Lentur Pada Kondisi Hogging

Table 5.7: Contoh Perhitungan Gaya Geser dan Momen Lentur Pada Kondisi Sagging

Station	Long. pos. (m)	Buoyancy (t/m)	Weight (t/m)	Net load (t/m)	SF (t)	BM (t.m)	SF (kN)	BM (kN.m)	Corr. SF (t)	Corr. BM (t.m)
st 0					0	0	0	0	0	0
st 1	1.46	6.05	2.01	-4.05	-5.68	-4.23	-56.76	-42.31	-56.93	-42.41
st 2	2.91	6.09	1.82	-4.27	-11.62	-16.97	-116.18	-169.70	-116.53	-169.90
st 3	4.37	5.56	2.46	-3.11	-17.04	-38.21	-170.39	-382.12	-170.91	-382.42
st 4	5.83	4.71	3.10	-1.61	-20.51	-65.99	-205.07	-659.88	-205.76	-660.27
st 5	7.29	3.69	3.74	0.05	-21.66	-97.16	-216.56	-971.57	-217.42	-972.06
st 6	8.74	2.69	4.39	1.70	-20.35	-128.21	-203.50	-1282.08	-204.54	-1282.67
st 7	10.20	1.92	6.09	4.18	-16.68	-155.69	-166.78	-1556.89	-167.99	-1557.58
st 8	11.66	1.32	6.70	5.38	-9.69	-175.27	-96.86	-1752.69	-98.24	-1753.48
st 9	13.11	0.99	7.30	6.31	-1.13	-183.48	-11.33	-1834.75	-12.88	-1835.64
st 10	14.57	0.96	3.54	2.58	6.15	-179.02	61.45	-1790.19	59.73	-1791.18
st 11	16.03	1.22	5.64	4.41	11.04	-167.17	110.39	-1671.65	108.49	-1672.73
st 12	17.48	1.85	5.56	3.71	17.01	-146.77	170.11	-1467.71	168.04	-1468.89
st 13	18.94	2.91	3.34	0.43	20.03	-119.18	200.33	-1191.78	198.09	-1193.06
st 14	20.40	4.30	5.02	0.72	21.01	-89.65	210.06	-896.47	207.65	-1794.32
st 15	21.86	5.55	3.21	-2.35	19.13	-60.00	191.29	-599.95	188.70	-601.43
st 16	23.31	6.26	3.65	-2.61	15.55	-34.89	155.52	-348.85	152.76	-350.43
st 17	24.77	6.13	2.42	-3.71	10.61	-15.81	106.13	-158.12	103.20	-159.79
st 18	26.23	4.98	1.32	-3.67	5.11	-4.56	51.08	-45.55	47.98	-47.32
st 19	27.68	2.86	1.28	-1.58	1.19	-0.50	11.90	-4.98	8.62	-6.85
st 20	29.14	0.75	0.00	-0.75	0.35	0.20	3.45	1.97	0.00	0.00
SUM		70.79	72.58	1.79				Max =	217.42	1835.64
					Selisih		1.593	0.107	%	



Gambar 5.3 Contoh Perhitungan Gaya Geser dan Momen Lentur Pada Kondisi Sagging

#### V.4. Perhitungan Modulus Penampang

Perhitungan momen inersia dan modulus penampang melintang kapal diberlakukan terhadap elemen-elemen konstruksi memanjang kapal. Secara praktis elemen-elemen konstruksi memanjang kapal ini diketahui ketika penampang kapal dipotong secara melintang maka elemen-elemen konstruksi tersebut terpotong. Elemen-elemen konstruksi tersebut menopang kapal secara memanjang artinya mereka berkontribusi terhadap kekuatan memanjang kapal.

Elemen-elemen konstruksi tersebut terdiri dari: pelat lunas, pelat alas, pelat bilga, penumpu alas tengah, penumpu alas samping (kalau ada), stiffner alas, alas ganda, stiffner alas ganda, pelat sisi kapal, sheer strake, penumpu samping, deck stringer, pelat geladak, penumpu tengah geladak, penumpu samping geladak (kalau ada), deck stringer dan beberapa elemen memanjang bangunan atas yang efektif.

Beberapa Rumus Dasar penentuan modulus penampang melintang kapal:

1. Jarak sumbu netral (neutral axis / NA) dari baseline:

$$NA = \sum AZ / \sum A = \dots\dots\dots \text{ m}$$

Tinggi kapal total:

$$(y_{total}) = h_{main\ deck} + h_{upper\ deck} \text{ (geladak kekuatan)} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

Jarak NA ke baseline:  $y_{bottom} = NA = \dots\dots\dots \text{ m}$

Jarak NA ke sisi atas geladak atau bangunan atas:  $y_{top} = y_{total} - y_{bottom} = \dots\dots \text{ m}$

Momen Inersia terhadap sumbu netral (NA) =

momen inersia terhadap sumbu assumpsi yang sejajar dengan sumbu netral –  
momen luas dari setiap penampang terhadap sumbu assumpsi.

$$I_{NA} = I_{base} - A \cdot NA^2. \text{ atau dalam notasi lainnya: } I_{NA} = I_n - A \cdot dg^2 \quad (1)$$

dimana:

$$\begin{aligned} I_n &= \text{momen inersia terhadap sumbu assumpsi yang sejajar dengan NA} \\ &= \sum (i_o + a \cdot dn^2) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} A &= \text{Luas total elemen struktur memanjang} \\ &= \sum a \end{aligned}$$

$a$  = luas dari tiap penampang struktur memanjang

$dn$  = jarak dari tiap titik berat penampang ke sumbu assumpsi

$dg=NA$  = jarak dari sumbu netral ke sumbu assumpsi

$$= \sum (a \cdot dn) / \sum a = \sum (a \cdot dn) / A$$

Modulus penampang dasar kapal:

$$W_{bottom} = I_{NA}/y_{bottom} = .... \text{ m}^3.$$

Modulus penampang geladak kapal:

$$W_{top} = I_{NA}/y_{top} = ..... \text{ m}^3.$$

Umumnya posisi sumbu asumsi terletak pada Base Line (BL), sehingga:

$$y_{bottom} = NA \quad \text{dan} \quad y_{top} = y_{total} - y_{bottom}$$

Section modulus bottom       $W_{bottom} = I_{NA}/y_{bottom}.$

Section modulus top       $W_{top} = I_{NA}/y_{top}.$



## BAB VI. PEMERIKSAAN KEKUATAN KAPAL

Pemeriksaan kekuatan kapal dilakukan dengan pengecekan tegangan pada kapal terhadap tegangan ijin dari material kapal. Tabel berikut ini menunjukkan contoh perhitungan tegangan kerja pada kapal

Table 6.1: Tegangan pada dasar dan geladak kapal

No	Type of Beban	Nilai	Satuan	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> ), tanpa upper deck		Tegangan (N/mm <sup>2</sup> ), dengan upper deck	
				Deck	Bottom	Deck	Bottom
	<b>Beban berdasarkan Rules</b>						
1	BM: SW, W. Induced & impact loads		kN.m				
2	BM: SW & Wave Induced:						
	SW Hogging Bending Moment		kN.m				
	SW Sagging Bending Moment		kN.m				
3	Shearing force		kN				
	<b>Beban berdasarkan perhitungan</b>						
4	BM air tenang		kN.m				
5	BM gelombang, hogging condition		kN.m				
6	BM gelombang, sagging condition		kN.m				
7	Shearing force, air tenang		kN				
8	Shearing force gelombang, hogging		kN				
9	Shearing force gelombang, sagging		kN				

Penentuan dimensi kapal-kapal niaga untuk kekuatan memanjang mengikuti peraturan-peraturan badan klasifikasi internasional (BV, BL, LR, ABS, dll). Peraturan-peraturan tersebut dikoordinasikan diantara badan klasifikasi masing-masing untuk menjamin standart keselamatan secara umum terhadap kriteria kekuatan kapal. Peraturan-peraturan tersebut menentukan secara spesifik tegangan-tegangan maximum yang diijinkan. Persamaan desain untuk kekuatan memanjang kapal ialah:

$$M_T = M_{SW} + M_{WV} \leq (\sigma_{perm} \times W_{min.})$$

dimana:

$M_T$  = momen lentur total

$M_{SW}$  = momen lentur pada kondisi air tenang

$M_{WV}$  = tambahan momen lentur gelombang (vertikal)

Minimum modulus penampang  $W_{min}$  dan tegangan ijin  $\sigma_{perm}$  ditetapkan. Momen lentur gelombang tambahan sulit ditetapkan pada awal desain. Hal ini dapat menyebabkan momen lentur air tenang sebagai variabel desain utama. Untuk memenuhi kondisi tersebut, maka perhitungan desain untuk momen lentur air tenang haruslah sangat kecil untuk modulus penampang minimum  $W_{min}$ . Jika tidak maka modulus penampang haruslah diperbesar. Modulus penampang minimum pada tahapan awal desain secara internasional disetujui untuk persamaan berikut ini (Nitta et al, 1992):

Modulus penampang minimum ( $cm^3$ ) adalah:

$$W_{min} = k \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7)$$

dimana : L dan B = panjang dan lebar kapal (m)

C = parameter gelombang

$$C = \begin{cases} 10,75 - ((300 - L)/100)^{1,5} & \text{untuk } 90 \leq L \leq 300 \\ 10,75 & \text{untuk } 300 < L \leq 350 \\ 10,75 - (L - 350)/150)^{1,5} & \text{untuk } L > 350 \end{cases}$$

k = konstanta material

k = 1 untuk standart baja lunak

k = 0,78 untuk HF 315

k = 0,72 untuk HF 355

Momen lentur gelombang (vertikal) untuk kondisi hogging dinyatakan sebagai berikut:

$$M_{WV(+)} = 0,19 \cdot M \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B \quad (\text{kNm})$$

dimana Faktor M menyatakan distribusi sepanjang lambung kapal

$$2,5 \cdot x/L \quad \text{untuk } 0 \leq x/L \leq 0,4$$

$$M = 1 \quad \text{untuk } 0,4 < x/L \leq 0,65$$

$$(1 - x/L)/0,35 \quad \text{untuk } 0,65 < x/L \leq 1$$

Momen lentur gelombang (vertikal) untuk kondisi sagging dinyatakan sebagai berikut:

$$M_{WV(-)} = -0,11 \cdot M \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,70) \quad (\text{kNm})$$

Rasio momen hogging terhadap sagging ialah:

$$|M_{WV(+)} / M_{WV(-)}| = (0,19 C_B) / ((0,11 \cdot (C_B + 0,7))) = 1,73 / (1 + (0,7 / C_B))$$

Nilai koefisien blok  $C_B$  ditentukan maximum 0,60 dan koefisien blok aktual dari kapal. Catatan bahwa hogging momen biasanya selalu lebih kecil dari momen sagging.

Persyaratan untuk modulus penampang minimum dengan tambahan momen lentur gelombang untuk kondisi sagging untuk memperoleh tegangan dinamik di laut ialah:

$$\sigma = |M_{WV(-)}| / W_{\min} = 110 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

dan untuk kondisi hogging:

$$\sigma = |M_{WV(+)}| / W_{\min} = 89 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{untuk } C_B = 0,60$$

$$\sigma = |M_{WV(+)}| / W_{\min} = 110 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{untuk } C_B = 1,0$$

Tegangan ijin maximum tengah kapal untuk standart baja lunak ialah:

$$\sigma_{\text{perm}} = 175 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Sehingga kurang dari setengah tegangan ijin disediakan untuk momen lentur pada kondisi air tenang. Baja tegangan tinggi mengijinkan nilai-nilai tegangan tinggi tergantung pada tegangan luluh:

$$\sigma_{\text{perm}} = 175 / k$$

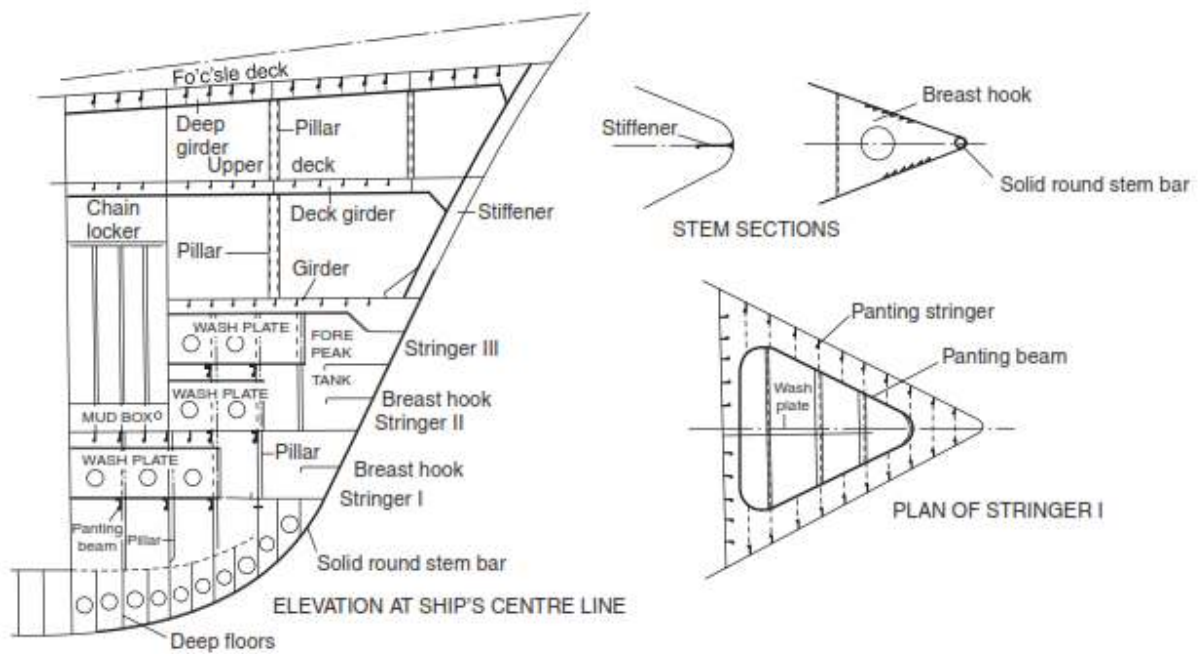
Momen lentur dan gaya-gaya melintang pada kondisi air tenang secara umum dihitung secara detail. Mereka tergantung pada kondisi pemuatan, jumlah dan distribusi dari provisi (bahan bakar, air tawar, minyak pelumas, dll) dan air ballast. Dengan demikian maka momen lentur dan gaya-gaya melintang pada kondisi air tenang berubah sepanjang waktu berlayar kapal. Badan-badan klasifikasi mengharuskan perhitungan untuk kondisi-kondisi awal, akhir dan tengah pelayaran.

## **VII.6. Konstruksi Bagian Haluan Kapal**

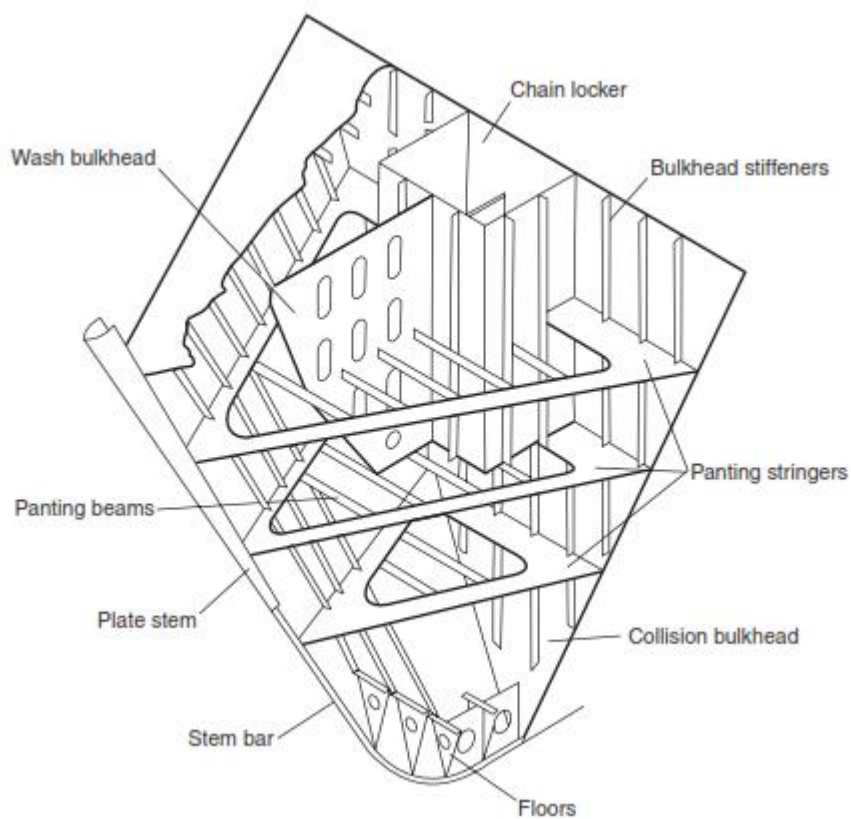
### **VII.6.1. Linggi Haluan**

Untuk kebanyakan kapal-kapal konvensional dipasang linggi balok (stem bar) yaitu balok bulat padat, dari lunas ke bagian garis air dan suatu pelat lengkung yang dipasang di atas garis air untuk membentuk bagian atas dari linggi haluan. Bentuk linggi ini disebut linggi 'soft nose' dimana ketika terjadi tubrukan akan menekuk akibat tekanan untuk menjaga kerusakan akibat tubrukan yang minimum. Kapal-kapal tua mempunyai linggi haluan balok padat dengan konstruksi keling dan penampang segi empat dengan bentuk linggi yang tegak dimana hal ini akan mengakibatkan kerusakan yang berat akibat kekakuan linggi. Kapal-kapal kecil seperti kapal tunda dan trawler masih mempunyai linggi balok padat yang diperpanjang sampai ke bagian atas haluan dan beberapa kapal penumpang besar masih mempunyai linggi baja tuang - atau tempa yang membentuk bagian bawah dari linggi kapal. Untuk kapal-kapal dengan notasi kelas 'Ice Class AC' diperlukan desain linggi haluan khusus dan elemen konstruksi tambahan secara khusus.

Balok padat bulat dilas di dalam pelat lunas pada bagian bawah dan di dalam pelat linggi lengkung pada bagian atas linggi sehingga pelat linggi dilas pada tiap sisi (Gambar 7.1). Penting untuk menopang bagian dari linggi haluan dimana bagian ini dibentuk dari pelat-pelat lengkung dengan 'breast hooks' yaitu pelat-pelat rusuk horisontal diantara geladak dan geladak bawah untuk mengurangi panjang tak ditumpu dari linggi. Jika pelat lengkung berukuran besar maka diperlukan penguat vertikal pada centre line. Ketebalan pelat-pelat tersebut dapat melebihi ketebalan dari pelat linggi haluan tetapi dapat berkurang sampai bagian atas linggi.



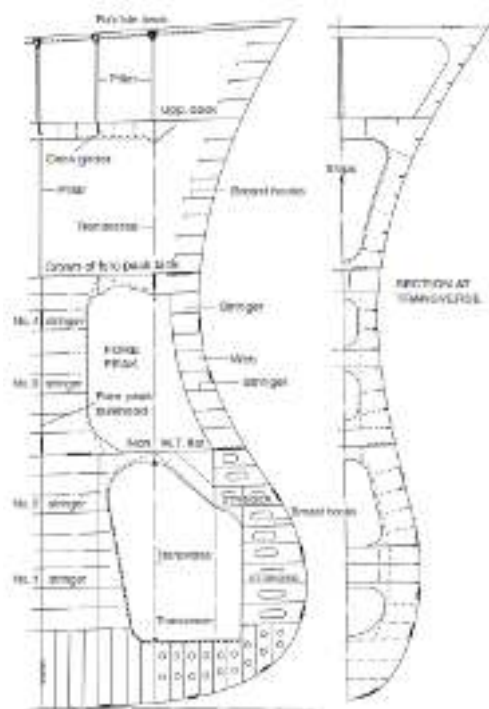
Gambar 7.1. Konstruksi Haluan Kapal



Gambar 7.2 Elemen Struktur Bagian Haluan

### VII.6.2. Linggi Bulb (Bulbous Bow)

Kapal-kapal yang beroperasi dengan kecepatan yang lebih tinggi serta koefisien blok yang lebih besar sering ditemui mempunyai bulb atau linggi yang menjorok ke depan di bawah garis air. Secara umum, tujuan dari pemasangan linggi bulb adalah untuk mengurangi hambatan kapal dan mengurangi hambatan terhadap gerakan kapal terhadap kondisi-kondisi tertentu. Dari sudut pandang konstruksi kapal, linggi bulb tidak mengalami kesulitan yang besar jika aspek ini dipertimbangkan sewaktu desain bentuk bulb. Akan tetapi secara umum, terdapat tingkat kelengkungan pelat yang besar, jika tidak maka diadopsi suatu bentuk silinder yang cocok dan dipasang pada haluan kapal sebagai suatu unit tunggal. Bentuk ini telah dibuat dengan sukses akan tetapi secara umum bagian yang menonjol tersebut membentuk suatu kelanjutan dari pelat kulit. Wrang-wrang dipasang pada tiap jarak gading dalam bulb dan suatu sekat memanjang terpasang pada centre line jika linggi bulb terlalu besar. Penguat-penguat melintang dipasang pada tiap lima jarak gading untuk bulb yang panjang. Untuk bulb yang kecil mempunyai elemen penguat memanjang pada centre line tetapi bukan sekat memanjang. Pelat kulit yang menutup bulb mempunyai ketebalan yang lebih besar dari pelat lengkung haluan kapal di sekitarnya. Ketebalan ini ditambahkan dengan mempertimbangkan faktor-faktor kerusakan oleh jangkar dan rantai jangkar.



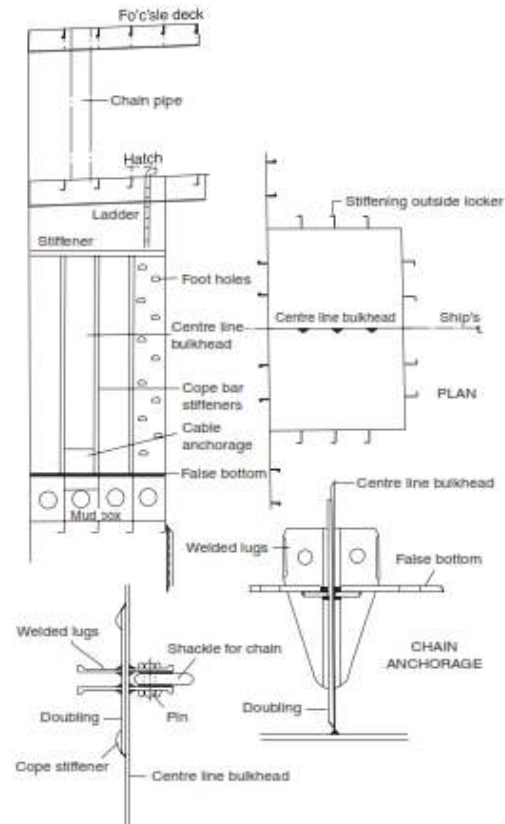
Gambar 7.3. Linggi Bulb

### **VII.6.3. Kotak Rantai Jangkar (Chain Locker)**

Kotak rantai jangkar ditempatkan di depan sekat tubrukan, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.1, di bawah geladak utama atau geladak ke dua. Kotak rantai juga dapat ditempatkan di geladak forecastle atau di belakang sekat tubrukan dimana untuk kasus ini kotak tersebut harus kedap air dan saluran drainase yang baik. Ukuran kotak rantai ditentukan dalam hubungannya dengan panjang dan ukuran rantai, serta ketinggian kotak yang menjamin rantai mudah ditempatkan dan rantai selalu mengarah tiap saat ke mulut pipa rantai (chain pipe). Rantai bagian kiri dan kanan kapal ditempatkan secara terpisah dalam kotak rantai dan bagian tiap ujung rantai di dalam kotak harus terikat dengan aman pada dasar tengah sekat kotak atau sisi bawah dari geladak (Gambar 7.4). Dalam penyusunan rantai jangkar diinginkan untuk penyaluran rantai dari luar kotak rantai.

Kotak rantai tidak perlu mempunyai lebar yang sama dengan kapal tetapi secara konvensional diperkuat ke depan dan sekat-sekat samping, elemen penguat dipasang di bagian sisi luar kotak jika memungkinkan untuk menghindari kerusakannya. Suatu alas tambahan “false bottom” dapat ditambahkan dengan penambahan pelat serta penumpu-penumpu pada ketinggian tertentu di atas alas dari kotak rantai. Bagian ini menyediakan suatu kotak kotoran (mudbox) yang dapat dicuci dan dikeringkan melalui pengisapan pada bagian tengah kotak. Untuk memisahkan kotak rantai pada kompartemen port dan starboard maka dipasang sekat pada center line. Sekat ini tidak sampai pada bagian atas kotak tetapi mengijinkan ruang kerja di atas kedua kompartemen tersebut. Jalan masuk ke dasar kotak tersedia dengan adanya ‘foot holes cut’ pada sekat dan penguat-penguat dipasang pada sekat ini adalah penguat vertikal type ‘flush cope bar’.

Setiap elemen konstruksi tambahan yang dapat dirusakkan oleh rantai jangkar haruslah dihindari. Ujung atas dari sekat diberi penguat dan dapat menyediakan suatu platform untuk berdiri dengan suatu tangga pendek melalui tersedia pada ambang rantai jangkar pada geladak. Tiap rantai jangkar dimasukan ke kompartemen kotak rantai yang sesuai melalui pipa pipa rantai bagian kiri dan kanan dari geladak haluan. Pipa rantai ini merupakan konstruksi pipa tuangan atau pipa cetakan dengan ujung bulat untuk mencegah kerusakan pipa.



Gambar 7.4. Konstruksi Kotak Rantai Jangkar

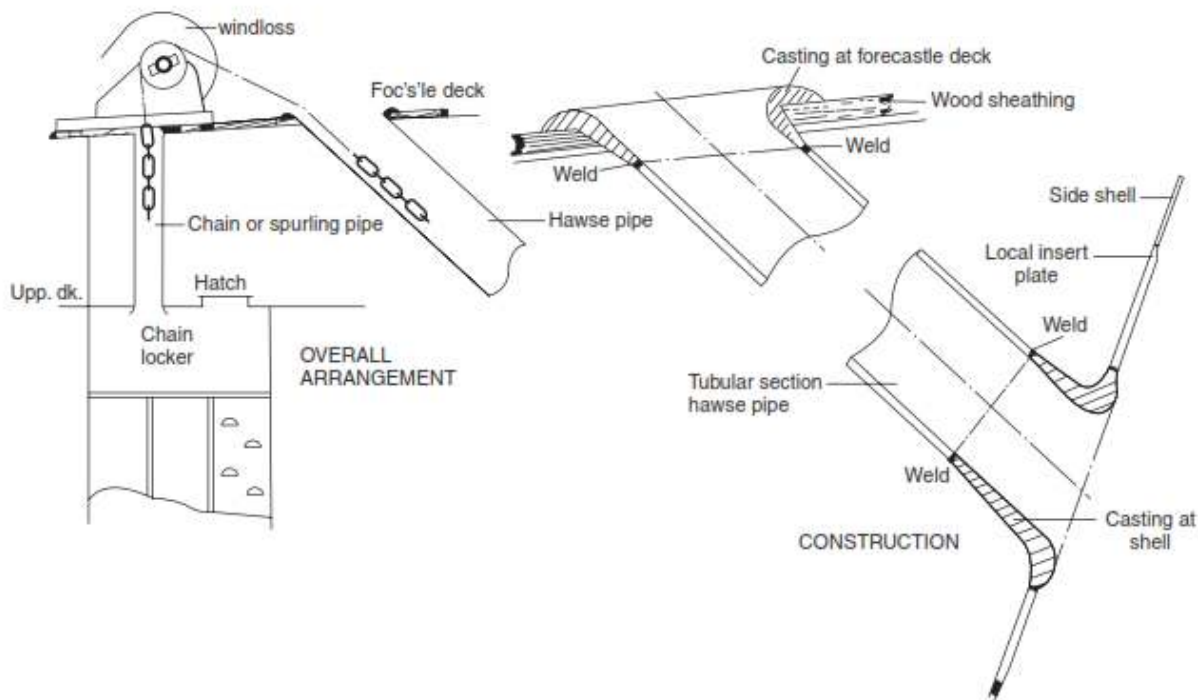
#### VII.6.4. Hawse Pipes

Untuk memudahkan pemasukan rantai jangkar melalui windlass dari jangkar ke kotak rantai jangkar maka haruslah dipasang hawse pipe. Konstruksi hawse pipe terdiri dari pipa tubular yang difabrikasi dan dilas dengan besi tuang yang terpasang pada deck dan pelat kulit untuk mencegah kerusakan (lihat Gambar 6.5). Penguatan tambahan pada hawse pipe diperlukan pada kulit sisi kapal.

#### VII.6.5. Susunan Steering Haluan (Unit Bow Thrust)

Untuk kebutuhan manuver di perairan pada kecepatan-kecepatan rendah maka penggunaan unit bow thrust adalah sangat bermanfaat. Unit bow thrust ini kebanyakan ditemui pada kapal-kapal riset, atau kapal-kapal platform pengeboran dimana harus dibutuhkan posisi yang sangat akurat. Unit bow thrust ini ditemui juga pada kapal-kapal berukuran besar dan kapal-kapal penyeberangan selat dimana unit bow thrust ini sangat membantu pada saat pengedokan kapal. Unit thrust ini terdiri dari impeller pitch terkontrol atau impeller putaran balik yang terpasang dalam suatu terowongan kedap air di dekat haluan kapal.





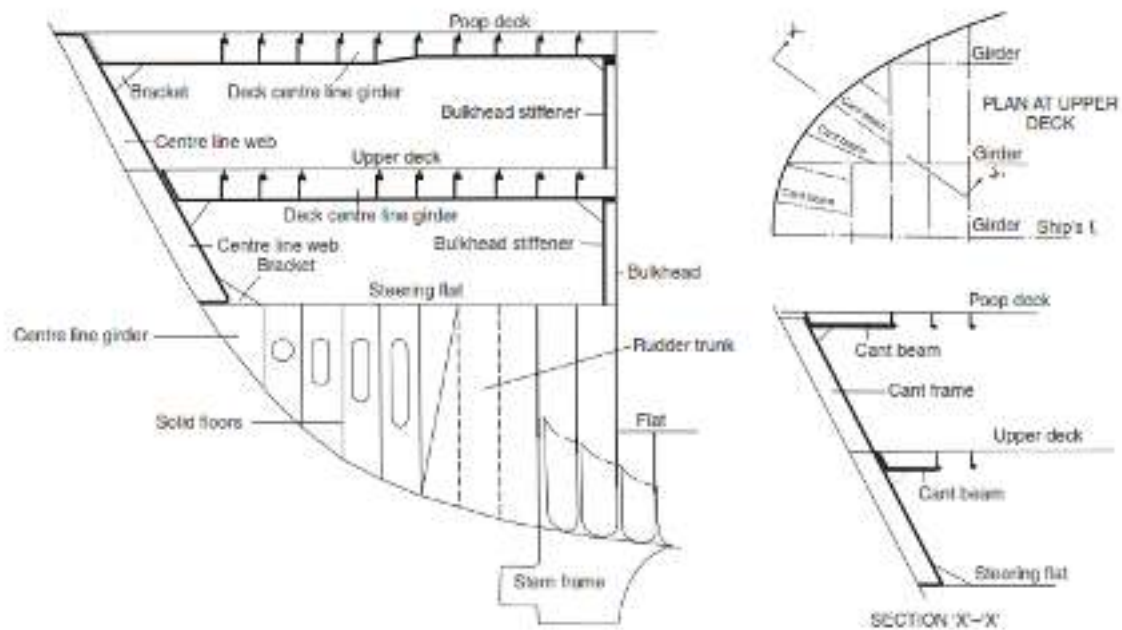
Gambar 7.5. Konstruksi Hawse Pipe

Kontrol dari unit bow thrust ini dilakukan dari bridge tetapi motor penggerak berada pada jalur impeller. Daya dorong oleh impeller adalah rendah, mungkin yang tertinggi yang pernah terpasang adalah 16 ton, tetapi ukuran unit tidak perlu besar dimana thrust kecil adalah lebih efektif. Nyatanya bahwa thrust terbesar terjadi pada kecepatan nol dan ketika kapal berlayar maka unit bow thrust ini menjadi kurang efektif. Dari sudut pandang konstruksi, bentuk konstruksi yang penting adalah menjadikan penampang-penampang yang baik pada ujung-ujung terowongan di sekitar kulit kapal. Telah ditunjukkan bahwa terjadi kenaikan hambatan dan daya dorong kapal yang cukup besar. Hal terbaik untuk menghindari hal ini adalah menutup terowongan ketika tidak digunakan thrust. Misalnya dengan mengoperasikan pintu penutup terowongan secara hidrolik.

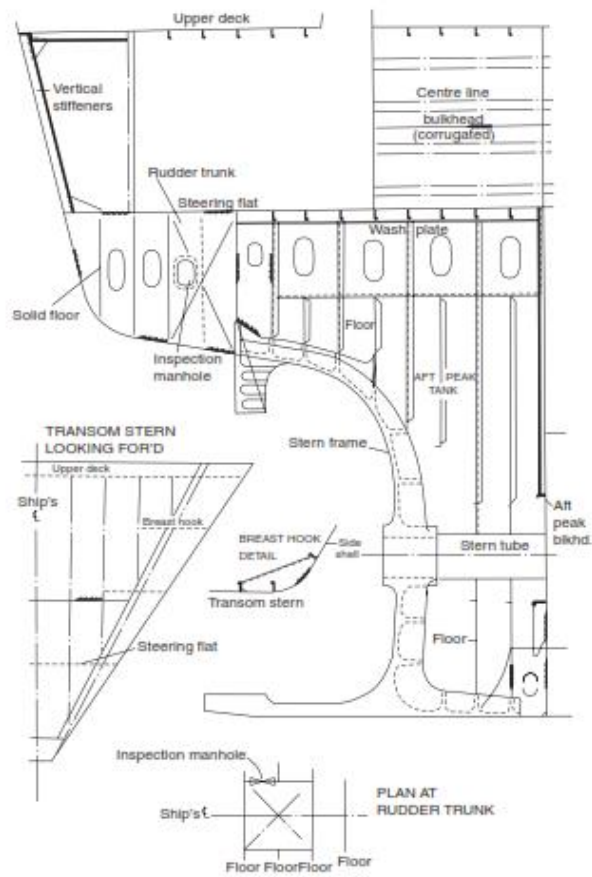
## **VII.7. Konstruksi Bagian Buritan Kapal**

Perhatian khusus diberikan untuk keseluruhan desain menyangkut perbaikan aliran air (flow) menuju dan keluar dari baling-baling. Buritan Cruiser (Gambar 7.6) untuk sekian lamanya digunakan untuk kapal-kapal laut namun belakangan ini Buritan Transom (Gambar 7.7) yang kebanyakan digunakan. Buritan Cruiser menghasilkan bentuk profile yang menyenangkan dan secara hydrodinamis lebih efisien tetapi buritan transom menawarkan luasan geladak buritan yang lebih besar, lebih mudah dibuat dan dapat juga meningkatkan perbaikan aliran air di sekitar buritan kapal. Berbagai type kemudi tersedia dan berbagai type dan bentuk yang dipasang bertujuan untuk menghasilkan karakteristik manuver yang terbaik. Kedua type buritan dan kemudi akan menentukan bentuk gading-gading buritan kapal dan selanjutnya dipengaruhi u oleh kebutuhan ukuran propeller. Hal khusus lainnya pada buritan kapal adalah susunan bagian buritan kapal yang mengijinkan as propeller dan stok kemudi yang terpasang pada bagian lambung buritan yang kedap air. Keselamatan suatu kapal dapat tergantung dari susunan bagian buritan. Jika diperlukan lebih dari satu screw propeller untuk mendorong kapal maka diperlukan bracket 'A' atau beberapa bossing untuk menopang poros di bagian luar buritan.

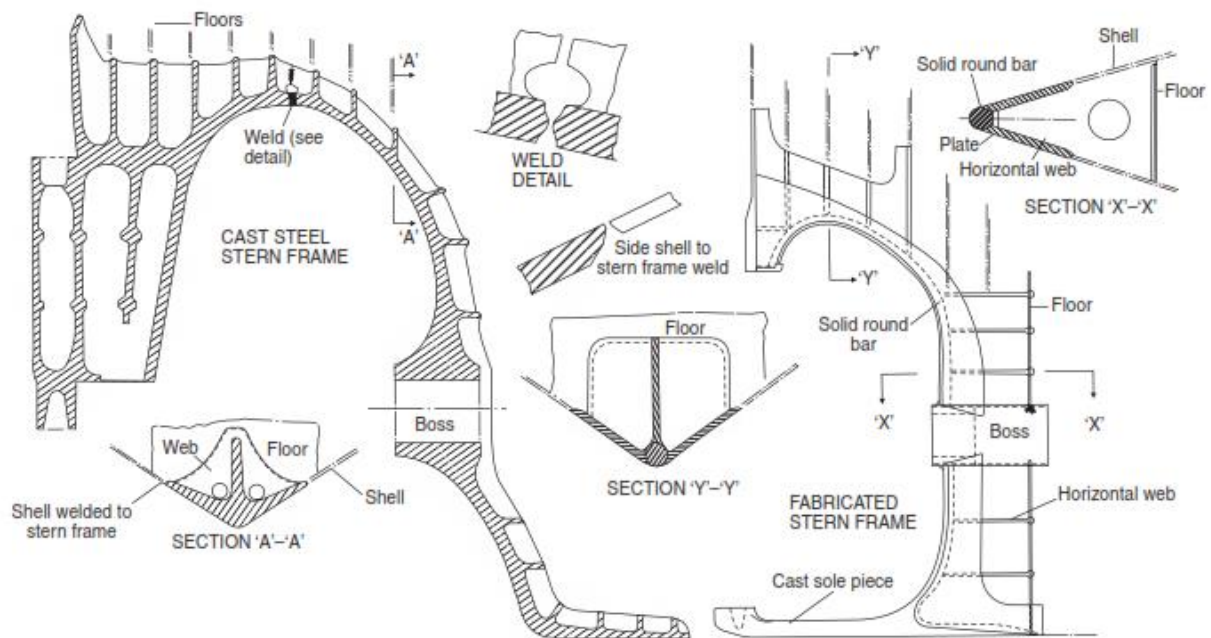
Bentuk buritan cruiser yang ergantung di atas permukaan air akan mengalami gaya-gaya slamming yang besar yang berpengaruh terhadap konstruksi buritan dimana hal ini memerlukan penguatan elemen konstruksi buritan. Wrang tertutup (solid floor) dipasang pada setiap jarak gading dan penumpu tengah kapal dipasang sampai pada pelat kulit buritan sampai ke geladak kapal. Pelat kulit buritan kapal diperkuat dengan 'cant frames' atau 'webs' dengan 'cant beams' yang menopang geladak dan berhubungan dengan balok geladak melintang di sampingnya. 'Cant frames' tidak diperlukan jika dipakai buritan transom dimana pelat datar buritan diperkuat oleh penguat-penguat vertikal (Gambar 7.7). Wrang (Deep floor) dan penumpu tengah (centre line girder) yang tinggi dipasang pada bagian bawah dari konstruksi buritan transom.



Gambar 7.6 Buritan Cruiser



Gambar 7.7. Buritan Transom

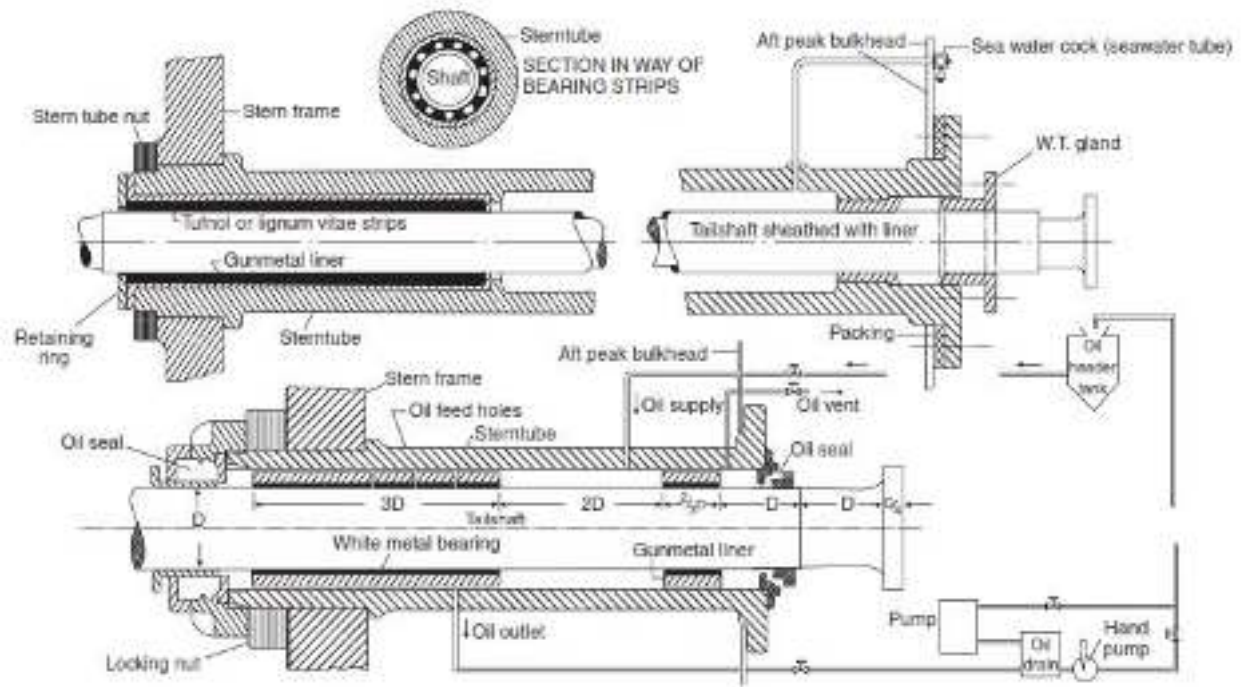


Gambar 7.8. Detail Konstruksi Buritan

## VII.8. Sterntube

Sterntube membentuk bantalan terakhir pada buritan kapal untuk poros propeller dan juga merupakan bagian yang kedap air dimana dilalui poros pada bagian lambung kapal. Terdapat dua bentuk sterntube yang biasanya digunakan dimana bentuk yang umum digunakan adalah strentube yang mempunyai bantalan-bantalan yang dilumasi air dengan ujung belakang terbuka terhadap air laut. Type lainnya ialah sterntube yang mempunyai dua ujung tertutup (packing) dan mempunyai permukaan bantalan metal yang dilumasi dengan minyak pelumas.

Pada type pertama, bantalan adalah “*lignum vitae strips*” yang dibuat secara tradisional dan ujung poros (bagian ujung belakang dari poros propeller) dipasang dengan “*brass liner*” akan tetapi belakangan ini sering dipasang “*Tufnol strips*”. Type kedua dari sterntube dipakai pada kebanyakan kapal dengan mesin di buritan, dimana poros yang pendek adalah agak kaku dan hanya terjadi defleksi kecil yang dapat ditolerir. Jika type strentube yang dilumasi pelumas ini dipakai maka digunakan packing pada kedua ujung untuk mempertahankan minyak pelumas dan mencegah masuknya air, dilengkapi permukaan bantalan “*white metal*” (dengan kandungan timah yang tinggi) dan minyak pelumas disuplay dari suatu tempat penampung (reservoir). Kedua type strentube tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.9.



Gambar 7.9. Sterntubes

## VIII. KONSEP DESAIN ELEMEN KONSTRUKSI KAPAL

### VIII.1. Tegangan pada Kapal

Untuk menjamin kekuatan kapal terutama untuk kapal-kapal niaga maka elemen konstruksi kapal haruslah memenuhi persyaratan yang ditetapkan badan klasifikasi internasional (IACS, BV, BL, LR, ABS, dll). Peraturan dari badan-badan klasifikasi tersebut secara spesifik menentukan tegangan-tegangan maximum yang diijinkan. Persamaan desain untuk kekuatan memanjang kapal ialah:

$$M_T = M_{SW} + M_{WV} \leq \sigma_{perm} \times W_{min}. \quad (8.1)$$

dimana:

$M_T$  = momen lentur total

$M_{SW}$  = momen lentur pada kondisi air tenang

$M_{WV}$  = tambahan momen lentur gelombang (vertikal)

Ketika momen lentur total kapal ditentukan dan dengan mengetahui tegangan ijin material  $\sigma_{perm}$  maka modulus penampang minimum  $W_{min}$  suatu kapal dapat ditentukan. Dari sinilah maka ukuran detail elemen konstruksi suatu kapal dapat ditentukan.

Persamaan (8.1) di atas dapat dikembangkan sebagai berikut:

$$M_T / W_{min} \leq \sigma_{perm} \text{ atau } \sigma_{ship} \leq \sigma_{perm} \quad (8.2)$$

Atau dengan kata lain:

Tegangan yang bekerja pada kapal ( $\sigma_{ship}$ ) harus lebih kecil dari tegangan ijin material kapal ( $\sigma_{perm}$ ).

Tegangan ijin material kapal (Baja, Aluminium, FRP, dll) adalah merupakan sifat-sifat fisik tegangan yang terdapat pada material tersebut sewaktu diproses. Sehingga sepanjang waktu tegangan tersebut terdapat pada material tersebut dan kuantitas tegangan akan berkurang sesuai dengan perlakuan eksternal dan internal terhadap material induknya.

Dengan demikian maka dalam perencanaan elemen konstruksi kapal diinginkan bahwa tegangan yang bekerja pada kapal haruslah minimum. Dari persamaan:  $\sigma_{ship} = M_T / W$  maka terlihat bahwa terdapat 2 faktor yang berpengaruh terhadap tegangan minimum, yaitu  $M_T$  dan  $W$ .  $\sigma_{ship}$  berbanding lurus terhadap  $M_T$  dan berbanding terbalik terhadap  $W$ . Sehingga kedua parameter ini memberikan pengaruh tersendiri terhadap nilai tegangan minimum.

#### A. Evaluasi Momen Lentur

Oleh karena  $\sigma_{ship}$  berbanding lurus terhadap  $M_T$  sehingga

- Jika  $M_T$  besar maka  $\sigma_{ship}$  besar
- Jika  $M_T$  kecil maka  $\sigma_{ship}$  kecil

Momen lentur  $M_T$  tergantung dari pembebanan (load) pada kapal dan dirumuskan sebagai:

$$M_T = \int N_x dx = \int q_x dx = \int (p_x - b_x) dx \quad (8.3)$$

Dari persamaan (8.3) ini terlihat bahwa momen lentur atau gaya geser  $N$  tergantung dari pembebanan (load)  $q$  pada kapal, dimana pembebanan merupakan fungsi dari selisih gaya berat  $p$  terhadap gaya apung (buoyancy)  $b$  pada setiap spasi teoritis kapal. Hal ini berarti bahwa untuk memperoleh  $M$ ,  $N$  yang kecil maka pembebanan pada tiap spasi teoritis harus diatur sedemikian rupa sehingga menghasilkan pembebanan yang kecil.

Sewaktu kapal dibangun maka dimensi dan bentuk geometris lambung kapal adalah tetap (tidak berubah). Dengan demikian maka distribusi buoyancy adalah tetap. Distribusi buoyancy ini selanjutnya akan bervariasi menurut kontur permukaan air baik untuk kondisi air tenang maupun untuk kondisi air bergelombang (hogging dan sagging). Akibat variasi kontur permukaan air ini maka mengakibatkan distribusi gaya buoyancy yang bervariasi sepanjang spasi teoritis kapal. Selain itu variasi tinggi sarat kapal (akibat kondisi pemuatan) akan berdampak terhadap kuantitas distribusi gaya buoyancy di sepanjang spasi teoritis kapal.

Distribusi muatan di kapal akan menghasilkan variasi gaya berat yang tersebar di sepanjang spasi teoritis kapal. Selisih antara gaya berat dan buoyancy dalam setiap spasi teoritis akan menghasilkan pembebanan (load). Jumlah integral dari load sepanjang lambung kapal menghasilkan gaya geser dan selanjutnya jumlah gaya geser akan menghasilkan distribusi momen lentur di sepanjang lambung kapal.

Dengan demikian perlu dicermati bahwa untuk mendapatkan  $M_T$  yang kecil maka distribusi load adalah kecil. Hal ini dapat dicapai dengan pengaturan distribusi komponen berat di seluruh lambung kapal. Hal ini tentunya tidaklah mudah, sebab kontur permukaan air dan tinggi sarat yang bervariasi sehingga tidaklah mudah untuk mendapatkan kondisi yang optimal. Akan tetapi proses pertimbangan desain terdapat variasi  $M_T$  menurut kondisi-kondisi tersebut sehingga perlu ditetapkan kondisi distribusi komponen berat kapal yang dapat menghasilkan  $M_{Tminimum}$ .

## **B. Evaluasi Modulus Penampang**



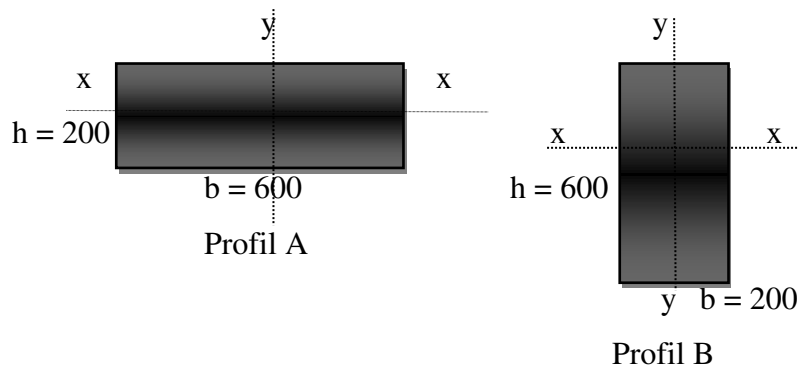
Dalam kenyataannya bahwa  $\sigma_{ship}$  berbanding terbalik terhadap modulus penampang  $W$ . Hal ini berarti:

- Jika  $W$  besar maka  $\sigma_{ship}$  kecil
- Jika  $W$  kecil maka  $\sigma_{ship}$  besar

Dalam perencanaan kapal, diinginkan bahwa  $\sigma_{ship}$  kecil dan hal ini berarti bahwa untuk memperkecil  $\sigma_{ship}$  maka dibutuhkan modulus penampang  $W$  yang besar. Hal ini berdampak pada dimensi elemen struktur kapal yang besar yang pada gilirannya berdampak terhadap:

- Berat elemen struktur kapal yang besar
- Biaya pembuatan kapal yang besar
- Displasemen kapal yang besar  $\rightarrow$  daya dorong kapal besar  $\rightarrow$  konsumsi bahan bakar yang besar  $\rightarrow$  biaya operasional kapal yang besar.

Suatu upaya dilakukan dengan opsi lain, yaitu dengan modifikasi bentuk geometri penampang elemen konstruksi. Ilustrasi berikut ini dapat memberikan gambaran terhadap kondisi tersebut.



Luas profil A = Luas profil B =  $1200 \text{ cm}^2$ . Berarti untuk panjang kedua profil yang sama maka berat kedua profil adalah sama.

Modulus penampang terhadap sumbu x untuk kedua profil adalah:

- Profil A :  $W_{x-x} = b \times h^3/12 = 60 \times 20^3/12 = 40000 \text{ cm}^3$
- Profil B :  $W_{x-x} = b \times h^3/12 = 20 \times 60^3/12 = 360000 \text{ cm}^3$

Dari sini terlihat bahwa profil B mempunyai modulus penampang (terhadap sumbu x-x) sebesar sembilan kali profil A.

Jelasnya bahwa penempatan profil penampang dengan dimensi  $h$  yang besar akan menghasilkan modulus penampang yang besar yang pada gilirannya menghasilkan tegangan kapal yang kecil. Namun demikian, persoalan berikut yang muncul adalah bahwa penggunaan profil yang demikian pada suatu elemen konstruksi kapal akan mengurangi volume ruangan, terutama ruang muat (cargo hold). Untuk ruang muat yang ditempati muatan packing seperti kontainer, ball, drum, kotak, dll maka hal penggunaan profil tipe B ini akan mengurangi kapasitas muatan yang diangkut. Profil ini lebih cocoknya dipakai untuk kapal muatan curah (bulk) dan muatan cairan (liquids).

Pertimbangan khusus diberikan terhadap bagaimana mengoptimasi dimensi profil elemen struktur kapal. Tentunya berbagai tujuan optimasi (minimize weight, minimize cost, dll) dikenakan dalam proses ini dengan mempertimbangkan batasan-batasan (constraints) yang terkait dalam proses tersebut.

## **VIII.2. Sistim Gading Kapal**

Dalam sistim gading kapal dikenal adanya:

- Sistim gading memanjang (longitudinal) dimana struktur elemen memanjang adalah dominan
- Sistim gading melintang (transverse) dimana struktur elemen melintang adalah dominan
- Sistim gading campuran (mixed) dimana terdapat keseimbangan antara kedua elemen struktur

Beberapa catatan penting untuk kedua sistim gading dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Sistim gading melintang mempunyai berat konstruksi yang lebih besar dibandingkan dengan sistim gading memanjang.
- Untuk kapal dengan dimensi panjang yang dominan ( $L/B >$ ) maka akan menghasilkan momen lentur membujur yang besar. Oleh sebab itu diperlukan sistim gading memanjang untuk mengatasi pengaruh momen lentur tersebut.
- Untuk kapal dengan dimensi lebar yang dominan ( $L/B <$ ) akan menghasilkan momen lentur membujur yang kecil akan tetapi sangat berpengaruh terhadap kekuatan melintang kapal dan efek torsi terhadap lambung kapal. Oleh sebab itu, kapal-kapal yang bekerja pada kondisi ini seperti kapal-kapal ikan, kapal tunda, ferry, dll cenderung memakai sistim gading melintang.

- Kapal-kapal penumpang cepat merupakan type displasemen kecil (light displacement) dimana mereka memerlukan berat konstruksi yang kecil untuk menghasilkan gaya angkat (lift) sehingga dipakai sistim gading memanjang.
- Kapal-kapal dengan pertimbangan desain elemen konstruksi khusus menggunakan sistim gading campuran (mixed) dengan tujuan mengurangi berat konstruksi kapal sambil menamin kekuatan memanjang kapal.

