

ANALISA KUANTITATIF PENGARUH PENAMBAHAN KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG DAN *DOUBLE BOTTOM* KAPAL SPOB 3500 DWT TERHADAP *LIGHTSHIP*

Panut Widodo^{1*}

¹ Program Studi T. Bangunan Kapal, Fakultas Kemaritiman, Universitas Ivet

*Email : pntwidodo@gmail.com

Abstrak

Pada saat pembaharuan sertifikat class BKI, kapal harus mengikuti dan memenuhi persyaratan peraturan BKI yang terbaru tahun 2019. Kapal SPOB 3500 DWT pengangkut Crude Product Oil (CPO) dan dibangun tahun 1984 ini, harus menambah sekat melintang di tanki muatnya dan merubah konstruksi bottom dari dasar tunggal menjadi dasar ganda (*double bottom*). Terkait dengan persyaratan peraturan BKI tersebut, maka perlu dilaksanakan perhitungan konstruksi *double bottom* dan penambahan sekat melintangnya. Dengan penambahan konstruksi sekat melintang dan dasar ganda ini, tentunya akan menambah berat *lightship* (LWT) kapal. Dalam penelitian ini dilakukan studi terhadap data gambar konstruksi lama yang tersedia, dan perhitungan ukuran konstruksi sekat melintang tambahan dan *double bottom* berdasarkan rule BKI 2019 Volume II. Dari ukuran dan data konstruksi tersebut dapat dihitung berat konstruksi akibat penambahan sekat dan *double bottom* dengan metode matematis. Berdasarkan hasil perhitungan maka ada penambahan 2 sekat melintang tebal 8,0 mm dan *inner bottom* tebal 8,0 mm, total penambahan berat konstruksi adalah 91032 kg, berat *lightship* kapal semula 678.84 ton berubah menjadi 768,872 ton, sehingga ada penambahan berat sebesar 13,41%.

Kata kunci : Berat, Konstruksi, Kapal, *Lightship*, dan Perhitungan,

PENDAHULUAN

Kapal SPOB 3500 DWT ini merupakan kapal jenis tongkang yang memiliki penggerak sendiri dan dibangun pada tahun 1984. Kapal ini dapat dikategorikan dalam jenis kapal *oil tanker* karena digunakan untuk mengangkut *Crude Product Oil (CPO)* atau minyak sawit mentah. Perhitungan konstruksi kapal ini, masih menggunakan aturan keselamatan dan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yang lama, sehingga pada saat pengajuan *re-class*, kapal ini diwajibkan melaksanakan penyesuaian terhadap aturan keselamatan dan BKI terbaru tahun 2019.

Berdasarkan peraturan BKI tahun 2019 *volume II*, kapal ini harus menambah sekat melintang pada tanki muatnya dan merubah konstruksi *bottom*nya dari dasar tunggal (*single bottom*) menjadi dasar ganda (*double bottom*). Dengan penambahan konstruksi sekat melintang dan dasar ganda ini, tentunya akan menambah berat kapal dalam kondisi kosong (*lightship/LWT*).

Terkait dengan hal tersebut, maka perlu dilaksanakan perhitungan ukuran dan berat penambahan konstruksi sekat melintang dan *double bottom* kapal.

Perhitungan konstruksi kapal pada umumnya akan menghasilkan modulus penampang midship diatas batas minimum. Kelebihan nilai ini berdasarkan peraturan bukanlah suatu masalah. Namun dari segi ekonomi akan dibutuhkan biaya lebih yang sebenarnya dapat dihemat (Rachman dkk, 2018).

Untuk memperjelas arah penulisan ini maka masalah yang akan dibahas adalah perhitungan ukuran konstruksi sekat tambahan dan *double bottom*, serta penambahan berat konstruksi kapal SPOB 3500 DWT. Sedangkan tujuannya adalah untuk mengetahui :

- a) Ukuran konstruksi sekat tambahan dan *double bottom* yang sesuai aturan BKI 2019 *volume II*
- b) Penambahan berat konstruksinya
- c) Prosentase penambahan berat *lightship* kapal

Dengan analisa ini diharapkan dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam pengambilan langkah untuk tetap menjaga *displacement* kapal.

LANDASAN TEORI

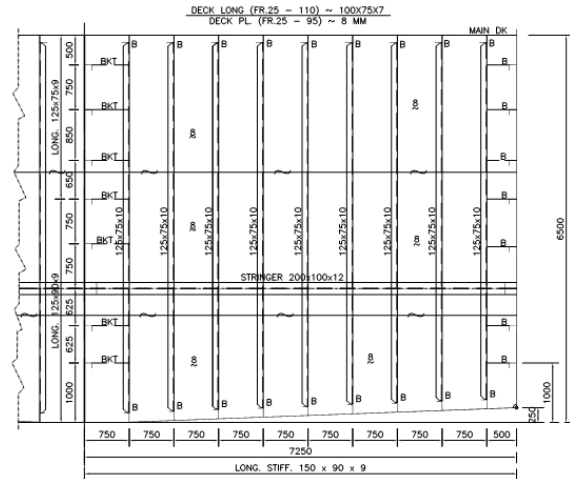
Sekat Kapal (*Bulkhead*)

Sekat dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok induk yaitu sekat kedap air (*Water tight bulkhead*) yang terdiri dari sekat memanjang (*longitudinal bulkhead*) dan sekat melintang (*transverse bulkhead*), dan sekat tidak kedap air (*Non water tight bulkhead*) yang terdiri dari sekat akomodasi dan *wash bulkhead* (Mandall, 2017).

Sekat merupakan salah satu konstruksi di kapal yang mempunyai fungsi yaitu sebagai pemisah antara kompartemen atau ruangan di kapal baik pemisah secara melintang maupun memanjang, menambah kekuatan melintang kapal, dan mencegah menjalarnya api saat terjadi kebakaran dan mencegah mengalirnya fluida ke ruangan lain saat terjadi kebocoran. Pemasangan sekat melintang dapat dijumpai pada semua tipe kapal dan menjadi persyaratan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), sedangkan untuk sekat memanjang umumnya hanya dijumpai pada kapal-kapal tertentu saja. Misalnya kapal pengangkut muatan cair dan kapal pengangkut muatan curah. Jika ditinjau dari fungsinya, sekat melintang kapal dapat dibagi menjadi beberapa golongan, yaitu sekat kedap air (*watertight bulkhead*), sekat kedap minyak, sekat untuk keperluan akomodasi, dan sekat berlubang (*swash bulkhead*) untuk mengatasi efek permukaan bebas muatan cair (Ikhwan & Misbah, 2019)

Perbedaan jenis konstruksi sekat melintang yang digunakan yaitu *corrugated bulkhead* dan *flat stiffened bulkhead* pada kapal mempengaruhi nilai kekuatan kapal dalam mengangkut muatan. Pemilihan jenis konstruksi sekat ini tentunya mempunyai nilai kekuatan yang berbeda. Jenis *corrugated* memiliki kelebihan yaitu berat konstruksinya ringan dan relatif lebih kuat (Ardianus dkk, 2017). Namun berhubung

kekurangan *corrugated* dalam hal biaya fabrikasinya lebih mahal dan material lebih sulit didapat sehingga akan menyulitkan dalam hal perbaikan maka untuk sekat tambahan dipilih bentuk yang datar (*flat stiffened bulkhead*).



Gambar 1. Konstruksi sekat melintang

Menurut peraturan BKI tahun 2019 *volume II*, banyaknya sekat kedap air melintang yang harus dipasang pada kapal bergantung pada panjang maksimum kompartemen kapal (*floodable length*) Panjang tangki muat kapal *oil and product tanker* yang kurang dari 5000 DWT, tidak boleh lebih besar dari 10 meter diukur pada jarak antar sekat kedap minyak (BKI 2019 *Volume II section 24.A.3.4.1*). Ukuran ketebalan pelat sekat menurut peraturan BKI 2019 *volume II section 11*, tebal pelat sekat (t_s) tidak boleh kurang dari :

$$t_s = Cp \cdot a \cdot \sqrt{p} + t_k \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

$$t_{min} = 6,0 \cdot \sqrt{f} \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

Dimana :

$$Cp = 1,1 \cdot \sqrt{f} \quad (\text{untuk sekat tubrukan})$$

$$Cp = 0,9 \cdot \sqrt{f} \quad (\text{untuk sekat lainnya})$$

a = jarak penegar sekat (*stiffener*)

p = beban yang diterima sekat

$$p = 9,81 \cdot h \quad \text{KN/m}^2 \quad (\text{untuk umum})$$

h = Jarak dari pusat beban sampai 1,0 m di atas geladak

$$h = 1/2 (H - hdb) + 1,0 \text{ m}$$

H = tinggi kapal

hdb = tinggi *double bottom*

t_k = Faktor korosi (untuk umum = 1,5)
 $f = \frac{235}{R_{eH}}$
 R_{eH} = kekuatan bahan (N/mm²)
 $R_{eH} = 235$ (N/mm²) untuk $k = 1$ (section 2 point B. 1)

Berdasarkan BKI 2019 volume II section 24.A.12, dalam tangki muat dan ballast di dalam area muatan, ketebalan anggota penguat memanjang, penumpu utama, sekat, dan penegar terkait tidak boleh kurang dari nilai minimum berikut :

$$t_{min} = 6,5 + 0,02 \cdot L \quad (\text{cm}^3) \quad (3)$$

Dimana :

$L = L_{wl}$, (L tidak boleh lebih besar dari 250 m)

Modulus penampang penegar sekat dihitung berdasarkan BKI 2019 Volume II Section 11.B.3.1, tidak boleh kurang dari :

$$W = Cs \cdot m \cdot a \cdot l^2 \cdot p \quad (\text{cm}^3) \quad (4)$$

Dimana :

Cs = *coeffisien stiffener*
 $Cs = 0,33 \cdot f$ (untuk sekat tubrukan)
 $Cs = 0,265 \cdot f$ (untuk sekat lainnya)
 a = jarak penegar sekat (*stiffener*)
 l = panjang yang tidak ditumpu
 $l = H - h_{ab}$
 $m = 1,0$
 p = beban yang diterima sekat

Modulus *web stiffener* dan *stringer* sekat melintang pada tangki muat, berdasarkan peraturan BKI 2019 section 3.A.5.3 tidak boleh kurang dari:

$$W = 0,55 \cdot e \cdot l^2 \cdot p \cdot n_c \cdot k \quad (\text{cm}^3) \quad (5)$$

Dimana :

e = jarak *stringer* atau *web stiffener*
 n_c = koefisien reduksi tergantung jumlah ikatan silang
 $n_c = 0,5$ jika ada satu ikatan silang
 l = panjang yang tidak ditumpu

Luas pelat *web* tidak boleh kurang dari :

$$A_w = 0,05 \cdot e \cdot l_1 \cdot p \cdot k \quad (\text{cm}^2) \quad (6)$$

Dimana $l_1 = 1$ dengan mempertimbangkan ikatan silang

Perhitungan modulus plastis dari profil bentuk “L” atau “T” yang sudah direncanakan (Z_x) harus lebih besar dari modulus hasil perhitungan BKI (W). Perhitungan modulusnya adalah :

$$Z_x = (b \cdot t_f) \cdot (h - t_f) + \frac{t_w}{4} \cdot (h - 2t_f)^2 \quad (\text{cm}^3) \quad (7)$$

Dimana :

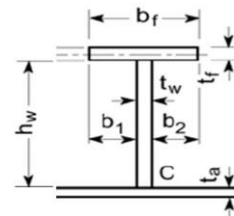
$b = b_f$ = lebar *flange* (plat hadap)

t_f = tebal *flange*

$h = h_w$ = tinggi *web* (plat bilah)

t_w = tebal *web*

lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Profil T

Perhitungan ukuran *bracket* menurut BKI 2019 volume II section 3.D.2 adalah :

a. Tebal *bracket* (t_{br}) tidak boleh kurang dari :

$$t_{br} = c \cdot \sqrt[3]{\frac{W}{k_1}} + t_k \quad (\text{mm}) \quad (8)$$

Dimana :

$c = 1,2$ untuk *bracket non-flange*

$c = 0,95$ untuk *bracket flange*

W = modulus bagian terkecil

k_1 = faktor material = 1,0

t_k = faktor korosi (umum = 1,5)

$t_{min} = 5,0 + t_k$

b. Panjang lengan *bracket* (l_{br}) tidak boleh kurang dari :

$$l_{br} = 46,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{W}{k_1}} \cdot \sqrt{k_2} \cdot c_t \quad (\text{mm}) \quad (9)$$

$l_{min} = 100$ mm

dimana

k_2 = faktor material = 0,91

$c_t = \sqrt{\frac{t}{t_a}}$

t_a = tebal *bracket* yang dibuat

$t_a \geq t$

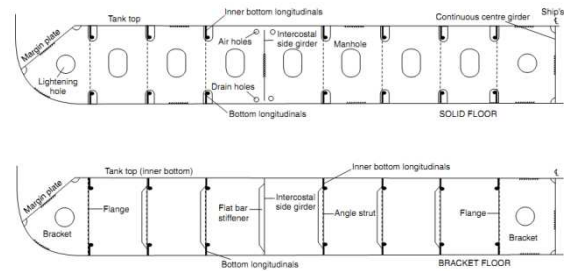
Apabila perhitungan tambahan konstruksi sekat melintang dilakukan secara optimal untuk memenuhi persyaratan klasifikasi, maka berat tambahan sekat menjadi minimum, sehingga menurunkan biaya produksi (Ikhwan & Misbah, 2019).

Dasar Ganda (*Double Bottom*)

Konstruksi *bottom* yang umum digunakan pada kapal dibagi menjadi 2 jenis yaitu dasar tunggal (*single bottom*) dan dasar ganda (*double bottom*). Dasar ganda memberikan peningkatan keamanan jika terjadi kerusakan/kebocoran pada bagian bawah, dan juga menyediakan ruang tangki cairan di bagian bawah kapal. Struktur *single bottom* terdapat pada kapal kecil seperti kapal tunda, *ferry*, dan kapal kargo dengan berat kurang dari 500 *gross tonnage* (Eyres, 2006). Menurut SOLAS II-1, *part B-2.9.1*, semua kapal penumpang dan kargo 500 GT atau lebih dan kapal tanker, dasar ganda harus di pasang memanjang dari sekat tubrukan hingga sekat ceruk buritan, sejauh hal ini dapat dilakukan dan kompatibel dengan disain dan kelayakan kerja di kapal (BKI, 2019).

Konstruksi *double bottom* terdiri dari plat kulit *bottom*, *girder*, wrang (*floor*) dan atau *longitudinal frame*, plat *inner bottom/tank top*. Ruang *double bottom* tidak diperuntukkan untuk muat cargo tetapi digunakan untuk tangki bahan bakar, minyak pelumas, air tawar dan air ballast. Antara tangki minyak dan air tawar harus dibatasi ruangan dengan dua wrang kedap air berjarak satu gading, yang disebut *cofferdam*

Tinggi *double bottom* di kapal akan tergantung pada persyaratan klasifikasi yang diikutinya. Pada *double bottom* kapal yang menggunakan sistem konstruksi gading memanjang, dipasang wrang plat penuh (*solid floor*) pada setiap jarak gadingnya, Jarak wrang plat penuh tidak boleh melebihi 3,8 m. Satu buah *Side girder* dipasang jika lebar kapal melebihi 14 meter dan 2 buah *side girder* jika lebar melebihi 21 meter (Eyres, 2006).



Gambar 3. Konstruksi *double bottom* sistem gading memanjang

Menurut peraturan BKI tahun 2019 *Volume II section 24.A.3.3.1.*, Kapal tanker minyak yang kurang dari 5000 DWT harus dipasang *double bottom* dengan tinggi minimal yang diukur dari garis *bottom* tertinggi adalah :

$$h = \frac{B}{15} \text{ (m) atau} \quad (10)$$

$$h_{\min} = 0,76 \text{ m}$$

dimana : B = Lebar kapal (m)

Jika jarak *horizontal* antara sisi penumpu tengah (*centre girder*) dengan lambung melebihi 4,5 m maka harus dipasang 1 penumpu samping (*side girder*). (BKI 2019 *Volume II section 8.B.3.1*).

Perhitungan tebal pelat *side girder* menurut BKI 2019 *volume II section 24.A.12*, tebal minimal tidak boleh kurang dari rumus 3 dan *section B, 3.2*, tidak boleh lebih kecil dari :

$$t_{sg} = \frac{h^2}{120.h_a} \sqrt{k} \quad \text{(mm)} \quad (11)$$

Dimana :

$$h = 350 + 45.B \text{ (mm)}$$

h_a = tinggi *side girder* yang dibuat

Kapal dengan sistem konstruksi memanjang, jarak wrang penuh (*plate floor*) tidak boleh lebih dari 5 jarak rata-rata gading pembujur, sedangkan untuk tebal pelat wrang penuh tidak boleh kurang dari :

$$t = (t_m - 2,0) \cdot \sqrt{k} \quad \text{(mm)} \quad (12)$$

$$t_{\max} = 16 \quad \text{(mm)}$$

Dimana :

t_m = tebal pelat *centre girder*

Stiffener wrang alas penuh tidak boleh kurang dari : (BKI 2019 *volume II section 8.B.5.4.2*)

$$W = 0,55 \cdot a \cdot l^2 \cdot p \cdot k \quad (\text{cm}^3) \quad (13)$$

Dimana :

- p = beban *inner bottom* (KN/m²)
- a = jarak pembujur
- l = tinggi wrang = hdb

Perhitungan tebal pelat *inner bottom* menurut BKI 2019 *volume II section 8.B.4.1*. adalah tidak boleh kurang dari :

$$t = 1,1 \cdot a \cdot \sqrt{p \cdot k} + t_k \quad (\text{mm}) \quad (14)$$

Dimana :

- a = jarak gading/pembujur (m)
- p = beban desain (KN/m²), beban *inner bottom* tergantung dari p₁, p₂ atau p₃
- p₁ = 10.(T-h_{DB})
- T = tinggi sarat kapal (m)
- p₂ = 10.h, jika tanki bentuk *boundary*
- h = Jarak dari atas pipa *overflow* sampai *inner bottom*
- p₃ = p_i = beban muatan

untuk beban muatan (p_i) berdasarkan BKI 2019 *volume II section 3.C.2* :

$$p_i = 9,81 \cdot \frac{G}{V} \cdot h \cdot (1 + a_v) \quad (\text{KN/m}^2) \quad (15)$$

Dimana :

- G = berat muatan di tangki muat (ton)
- V = volume tangki muat (m³)
- h = titik tertinggi asumsi tangki terisi penuh
- a_v = faktor percepatan
- a_v = 0,11. $\frac{v_0}{\sqrt{L}}$. m
- m = 1,0, untuk 0,2 < x/L ≤ 0,7
- v₀ = kecepatan kapal , tidak boleh < \sqrt{L}

Sedangkan pembujur plat *inner bottom*, modulusnya tidak boleh lebih kecil dari :

$$W = n \cdot c \cdot a \cdot l^2 \cdot p \cdot k \quad (\text{cm}^3) \quad (16)$$

Dimana :

- n = 0,44 jika p = p₂
- n = 0,55 jika p = p₁ atau p₃
- n = 0,70 jika p = p_B
- p = beban *inner bottom* (KN/m²)

- c = 0,6 jika ada penopang pada l/2
- c = 1,0 untuk yang lain
- l = jarak yang tidak ditumpu (m)

Berat Pelat

Berat pelat merupakan hasil kali *volume* pelat dengan massa jenisnya, sedangkan *volume* merupakan hasil kali luasan dengan tebal pelat. Dimana massa jenis baja adalah 7850 kg/m³

METODE PENELITIAN

Data-data kapal SPOB 3500 DWT dalam penelitian ini diambil dari studi gambar *general arrangement, capacity plan* dan *construction profile* yang didapat dari pemilik kapal. Dari data dilakukan perhitungan ukuran konstruksi penambahan sekat dan *double bottom* berdasarkan *rule* BKI 2019 *Volume II*. Perhitungan berat konstruksi dengan pendekatan matematis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data ukuran Kapal

Data-data SPOB 3500 DWT ini adalah panjang keseluruhan (L_{OA}) 72,52 m; panjang per *pendicular* (L_{pp}) 70,20 m; panjang garis air (L_{WL}) 72,00 m; lebar (B) 14,50 m; tinggi (H) 6,50 m; *draft* (T) 4,60 m; kecepatan (Vs) 10 knots; koefisien Blok (C_b) 0,85; mesin induk ada 2 unit x 800 HP /1000 RPM; sistem konstruksi memanjang; jarak *frame* 600 mm; jarak *web frame* 2400 mm, jarak pembujur 750 mm; nomer *frame* 0 s.d. 117; berat *lightship* 678.84 ton.

Penentuan tambahan sekat melintang dan tinggi *double bottom*

SPOB ini, awalnya memiliki tanki muat/*cargo oil tank (COT)* berjumlah 6 tanki yang terdiri dari 3 tanki kiri (*Portside/P*) dan kanan (*Starboard/S*), nama dan letak nomer *frame* tanki dapat dilihat pada tabel 1. Dari tabel 1 tersebut dapat diketahui bahwa panjang tanki muat I (P/S) dan tanki muat III(P/S) adalah 30 jarak gading atau sebesar 18 meter, sedangkan panjang tanki muat II (P/S) adalah 14 jarak gading atau sebesar 8,4 meter

Menurut BKI 2019 *Volume II section 24.A.3.4.1*, dipersyaratkan bahwa panjang tanki muat kapal *oil and product tanker* yang kurang dari 5000 DWT, tidak boleh lebih besar dari 10 meter yang diukur pada jarak antar sekat kedap minyak pembatasnya. Sehingga tanki muat I dan III tersebut harus ditambahkan sekat melintang yang diletakkan pada *frame* nomor (fr.) 40 dan fr. 84. Dengan adanya penambahan sekat melintang ini, maka tanki muat menjadi 5 unit tanki kanan kiri dan panjang tanki muat terbesar adalah 9,0 meter sudah sesuai yang disyaratkan BKI. Jumlah tanki muat dan panjangnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Tanki muat awal

Nama Tanki	Sekat Melintang No. Frame	Panjang Tanki (m)
<i>Cargo oil Tank I P/S</i>	69 ~ 99	18.00
<i>Cargo oil Tank II P/S</i>	55 ~ 69	8.40
<i>Cargo oil Tank III P/S</i>	25 ~ 55	18.00

Tabel 2. Tanki muat setelah modifikasi

Nama Tanki	Sekat Melintang No. Frame	Panjang Tanki (m)
<i>COT I P/S</i>	84 ~ 99	9.00
<i>COT II P/S</i>	69 ~ 84	9.00
<i>COT III P/S</i>	55 ~ 69	8.40
<i>COT IV P/S</i>	40 ~ 55	9.00
<i>COT V P/S</i>	25 ~ 40	9.00

Kemudian berdasarkan peraturan BKI tahun 2019 *Volume II section 24.3.3.1*. disampaikan bahwa kapal *oil tanker* yang kurang dari 5000 DWT harus dipasang *double bottom* dengan tinggi diukur dari garis dasar tertinggi minimal 0,76 meter atau sesuai rumus 7 sebesar 0,97 m. Berhubung bentuk *bottom* kapal ini miring dimana tinggi *bottom* tepi berjarak 250 mm dari garis dasar (*base line*), dan tinggi minimal dari *bottom* tertinggi adalah 0,76 m maka tinggi *double bottom* ditentukan setinggi 1010 meter dari *base line*

Perhitungan tebal pelat sekat melintang tambahan fr. 40 dan fr. 84 sesuai rumus 1 dan 2, dimana :

- $R_{eH} = 235 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ untuk $k = 1$
- $f = \frac{235}{R_{eH}} = 1$
- $Cp = 0,9 \cdot \sqrt{f} = 0,9$
- $h = 1/2 (H - h_{db}) + 1,0 = 3,745 \text{ m}$
- $p = 9,81 \cdot h = 36,74 \text{ KN/m}^2$
- $t_k = 1,5$
- $a = \text{jarak stiffener} = 0,725 \text{ mm}$
- $L = 72,0 \text{ mtr}$

sehingga dari rumus 1, 2 dan 3 didapat :

$$t_s = Cp \cdot a \cdot \sqrt{p} + t_k = 5,5 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 6,0 \cdot \sqrt{f} = 6,0 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 6,5 + 0,02 \cdot L = 7,94 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas dapat dijelaskan bahwa :

- 1) Untuk konstruksi sekat melintang lama frame 25, 55, 69 dan 99 tebal pelat sekat melintang yang sudah terpasang dikapal adalah 8 mm, sudah memenuhi persyaratan BKI 2019. Jadi untuk konstruksi sekat melintang yang lama tidak perlu diganti.
- 2) Tebal pelat sekat melintang tambahan fr. 40 dan 84 disamakan dengan yang lama yaitu 8,0 mm

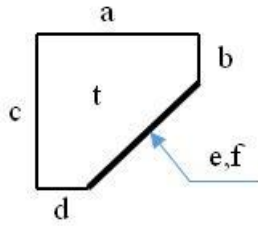
Berdasarkan persamaan 4., dimana panjang tidak ditumpu (l) = 5,49 m, jarak *stiffener* (a) = 0,725 m maka *modulus stiffener* sekat melintang fr. 40 dan 84 adalah :

$$W_{sf} = Cs \cdot m \cdot a \cdot l^2 \cdot p = 212,75 \text{ cm}^3$$

Dari nilai modulus di atas, kemudian dilaksanakan perencanaan profil dan hasil perhitungan modulus dari profil yang direncanakan (Z_x) harus lebih besar dari modulus perhitungan tersebut (W_{sf}).

Berdasarkan nilai W_{sf} , direncanakan profil "L" ukuran 130x130x12 mm. Dari rumus 6 didapatkan $Z_x = 217,79 \text{ cm}^3$, sehingga profil ukuran ini memenuhi persyaratan ($217,79 > 212,75 \text{ cm}^3$).

Modulus *web stiffener* dapat dihitung berdasarkan rumus 4., dimana jarak *web stiffener* (a) = 3,625 m dan $l = 5,49 \text{ m}$, maka didapatkan modulus *web stiffener* (W_{ws}) = $1063,75 \text{ cm}^3$. Direncanakan profil "T" ukuran 400x12 + 150x12 mm.



Gambar 5. Dimensi bracket

Perhitungan *bracket* menggunakan rumus 8 dan 9, sedangkan modulusnya disesuaikan dengan komponen yang dihubungkan. Penulisan ukuran *bracket* pada penulisan ini adalah $a/b \times c/d \times t + e \times f \times t$ mm, dimensi lihat gambar 5. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Bracket sekat tambahan

Nama	ukuran
<i>Bracket stiffener (1)</i>	250/80 x 250/80 x 10 + 240x100 x 10 mm
<i>Bracket web stiff., dan stringer (2)</i>	460/150 x 460/150 x 12 + 440x100 x 12 mm
<i>Bracket pembujur sisi/sekat (3)</i>	300/100 x 720 x 10 mm

Perhitungan konstruksi *double bottom*

.Dengan adanya *double bottom* ini, maka diperlukan penyesuaian konstruksi *bottom* yang lama diantaranya adalah :

- Penambahan plat *inner bottom* lengkap dengan pembujurnya
- Penyesuaian ukuran wrang yang semula berbentuk profil T ukuran 650x300x12 mm menjadi pelat setinggi *double bottom* lengkap dengan *stiffener* serta lubang peringan agar tidak kedap
- Side girder* yang semula berbentuk profil T ukuran 650x300x12 mm menjadi pelat setinggi *double bottom* dan diberi lubang peringan agar tidak kedap. Ukuran lubang pada *side girder* tidak boleh melebihi separo tingginya dan setengah jarak gading

Pemilihan beban muatan atau beban *inner bottom* berdasarkan rumus 10 dan 11, dimana $G = 319,4$ ton, $V = 358,88 \text{ m}^3$, $v_0 =$

10 knot, $a_v = 0,13$, $h = 5,49$ m maka didapatkan :

$$p_3 = p_i = 54,16 \text{ KN/m}^2$$

$$p_1 = 54,90 \text{ KN/m}^2$$

dipilih beban terbesarnya 54,90 KN/m²

Hasil perhitungan konstruksi *double bottom* berdasarkan rumus 11-16 dan 8,9 dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan konstruksi *double bottom*

Nama konstruksi	tebal (mm)	ukuran (mm)
<i>Side girder</i>	12	1010 x 51000
Wrang	10	1010 x 14500
<i>Stiffener wrang</i>	6	L 60x60 x 1000
<i>Pelat inner bottom</i>	8	51000 x 14500
<i>Pembujur inner bottom</i>	12	L 120x120 x 51000
<i>Bracket web fr. & web stiff. (4)</i>	12	625/100 x 625/100
<i>Bracket stiff, transv. BHD (1)</i>	10	250/80 x 250/80 + 240x100
<i>Bracket web stiffener transv. BHD (2)</i>	10	460/150 x 460/150 + 440x100
<i>Bracket stiff. wrang (5)</i>	10	150 x 150

Wrang dan *side girder* ini, dibuatkan lubang peringan dengan ukuran 800 x 600 mm atau diameter 600 mm.

Berat Penambahan Konstruksi

Dari data ukuran konstruksi tambahan dan konstruksi kapal SPOB ini maka didapatkan berat seperti pada tabel 5. Berat konstruksi pada tabel 5 ini, harus dikurangi dengan plat lama yang terbuang dan lubang peringan yang ada pada wrang dan *side girder*. Hasil perhitungan pengurangan berat (dapat dilihat pada tabel 6) sebesar 29968 kg, sehingga total penambahan beratnya sebesar 91032 kg atau 91,032 ton.

Tabel 5. Hasil perhitungan berat

Nama	Luas (m ²)	t	n	berat (kg)
Pelat sekat	92.64	8	2	11635.58
Stiffener	1.84	12	32	5546.5
Web stiff.	3.05	12	4	1149.24
Stringer	8.65	12	2	1629.66
Bracket1	0.07	10	224	1230.88
Bracket2	0.24	12	20	452.16
Bracket3	0.144	10	96	1085.18
Side girder	51.51	12	2	9704.48
Wrang	13.03	10	15	15342.83
Wrang fr.103	7.00	10	1	549.5
Wrang fr.107	17.16	10	1	1347.06
Stiff. wrang	0.14	7	260	2000.18
Pelat inner bottom (IB)	775	8	1	48668.74
Pembujur IB (PIB)	11.63	12	10	10955.46
PIB	12.18	12	2	2294.71
PIB	11.9	12	2	2241.96
PIB	11.35	12	2	2138.34
Bracket1	0.07	10	220	1208.9
Bracket2	0.24	12	5	113.04
Bracket4	0.27	12	51	1297.13
Bracket5	0.01	10	520	408.2
Total berat konstruksi				121000

Tabel 6. Pelat lama yang terbangun

Nama item	Luas (m ²)	t	n	berat (kg)
Deck Beam	8.338	12	2	1570.88
Bracket1	0.264	10	8	165.79
Bracket2	0.145	10	8	91.06
Wrang	12.16	12	18	20623.58
Bracket3	0.264	10	8	165.79
Bracket4	0.145	10	70	796.78
Web frame	4.088	12	4	1540.36
Web stiff.	4.088	12	2	770.18
Pembujur	11.73	8	2	1473.29
Web frame	0.27	12	34	864.76
Web stiff.	0.27	12	17	432.38
Lubang	0.408	10	46	1473.29
Total pengurangan berat				29968

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka berat *lightship* kapal semula 678.84 ton akan berubah menjadi 768,872 ton

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dengan adanya penambahan 2 unit sekat melintang pada tangki muat dan penambahan *double bottom* kapal SPOB 3500 DWT berdasarkan peraturan BKI 2019 *volume II* ini, adalah sebagai berikut :

- Ada penambahan 2 sekat tebal 8,0 mm dan inner bottom tebal 8,0 mm
- Total penambahan berat konstruksi adalah 91032 kg atau 91,032 ton
- Berat *lightship* kapal semula 678.84 ton berubah menjadi 768,872 ton, ada penambahan berat 13,41%

DAFTAR PUSTAKA

- Ardianus, A., Sujatanti, S. H., & Setyawan, D. 2017. Analisa kekuatan konstruksi sekat melintang kapal tanker dengan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), G183-G188.
- Rules, B. K. I. 2019. *Rules for Classification and Construction Part 1 Seagoing Ship Volume II: Rules for Hull*, Jakarta
- Eyres, D. J. 2006. *Ship construction*. Elsevier.
- Ikhwan, A. L., & Misbah, M. N. 2019. Optimasi Berat Konstruksi Sekat Melintang Kapal dengan Variasi Penegar Sekat. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), G136-G143.
- Mandal, N. R. 2017. *Ship construction and welding* (pp. 170-174). Singapore: Springer.
- Rachman, A., Yulianto, T., & Setyawan, D. 2018. Perancangan Aplikasi Perhitungan dan Optimisasi Konstruksi Profil pada Midship Kapal Berdasar *Rule* Biro Klasifikasi Indonesia. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1), G12-G18.