1 (2) (2021) 58-66

Marine Science and Technology Journal

http://e-journal.ivet.ac.id/index.php/maristec

Analisa Perhitungan Penambahan Konstruksi Sekat Dan Dasar Ganda SPOB 3500 DWT Berdasarkan Aturan BKI 2019

Panut Widodo✉

Fakultas Kemaritiman, Universitas IVET, Indonesia

DOI: https://doi.org/10.31331/maristec.v1i2

Info Articles

Sejarah Artikel:

Disubmit November 2020
Direvisi Desember 2020
Disetujui Januari 2021

Keywords:
BKI, Bulkhead, Construction, Double Bottom, SPOB

Abstrak

Kapal tongkang berpenggerak sendiri SPOB 3500 DWT pengangkut *Crude Product Oil* (CPO) dalam penelitian ini, dibangun di Singapura pada tahun 1984 ini. Setelah sekian lama beroperasi, kapal ini kemudian dimasukkan dalam Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), sehingga dari segi konstruksi juga harus mengikuti persyaratan aturan BKI 2019. Untuk mengetahui penyesuaian konstruksi yang diperlukan agar diterima klass dan juga mencegah konstruksi yang berlebih maka diperlukan perhitungan penambahan konstruksi tersebut berdasarkan aturan BKI terbaru. Dalam penelitian ini dilakukan analisa terhadap data gambar konstruksi lama yang tersedia, dan perhitungan secara matematis ukuran konstruksi sekat melintang tambahan dan *double bottom* berdasarkan aturan BKI 2019 Volume II. Berdasarkan data dan aturan BKI 2019 kapal ini harus menambah 2 unit sekat melintang di tanki muatnya dan merubah konstruksi bottom dari dasar tunggal *(single bottom)* menjadi dasar ganda *(double bottom)* yang dipasang disepanjang tangki muat. Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa ketebalan pelat sekat yang lama masih memenuhi persyaratan BKI, tebal pelat sekat melintang tambahan adalah 8,0 mm, tinggi double bottom 1010 mm dan tebal pelat *inner bottom* adalah 8,0 mm.

Abstract

Self propelled barge SPOB 3500 DWT carrying Crude Product Oil (CPO) in this study, was built in Singapore in 1984. After operating for a long time, this ship was then included in the Indonesian Classification (BKI), so that in terms of construction it must also follow the requirements of BKI 2019 regulations,. In order to find out the construction adjustments needed to be accepted by the class and also to prevent over-construction, it is necessary to calculate the additional construction based on the latest BKI rules. In this study, an analysis of the old construction drawing data was carried out and mathematical calculation of size of additional transverse bulkhead construction and pelate of double bottom based on rules BKI 2019 Volume. Based on data and regulations of BKI 2019, this ship must add 2 units of transverse bulkhead at cargo tank and change the bottom construction from a single bottom to a double bottom installed along the cargo tank. From the calculation results, it knew that the old bulkhead pelate thickness still meets BKI requirements, the additional transverse bulkhead pelate thickness is 8.0 mm, the double bottom height is 1010 mm and the inner bottom pelate thickness is 8.0 mm.

✉Alamat Korespondensi:
E-mail: pntwidodo@gmail.com

ISSN : 2746-1580

PENDAHULUAN

Kapal *self propelled Oil Barge (*SPOB) 3500 DWT ini merupakan kapal jenis tongkang yang memiliki penggerak sendiri dan dibangun pada tahun 1984 di Singapura. 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 pada saat dibangun belum menggunakan aturan keselamatan dan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), sehingga pada saat pengajuan penerimaan klass BKI, kapal ini diwajibkan melaksanakan penyesuaian terhadap aturan keselamatan dan BKI terbaru yaitu tahun 2019. Untuk mengetahui penyesuaian kontruksi yang dipersyaratkan, konstruksi lama kapal masih memenuhi persyaratan BKI dan memperoleh konstruksi yang ekonomis maka perlu dilaksanakan analisa perhitungan konstruksi kapal ini berdasarkan aturan BKI 2019 Volume II.

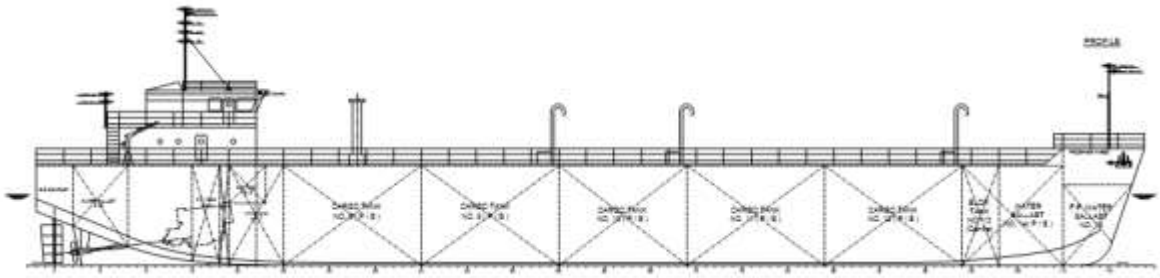
Perhitungan konstruksi kapal pada umumnya akan menghasilkan modulus penampang midship diatas batas minimum. Kelebihan nilai ini berdasarkan peraturan bukanlah suatu masalah. Namun dari segi ekonomi akan dibutuhkan biaya lebih yang sebenarnya dapat dihemat (Rachman dkk, 2018).

Untuk memperjelas arah penulisan ini, maka masalah yang akan dibahas adalah perhitungan ukuran konstruksi sekat dan *double bottom*, serta pemenuhan konstruksi sekat lama terhadap hasil perhitungan berdasarkan aturan BKI 2019

Sekat Kapal *(Bulkhead)*

Sekat merupakan salah satu konstruksi di kapal yang berfungsi sebagai pemisah antara kompartemen atau ruangan kapal baik pemisah secara melintang maupun memanjang, menambah kekuatan melintang kapal, mencegah menjalarnya api saat terjadi kebakaran dan mencegah mengalirnya fluida ke ruangan lain saat terjadi kebocoran. Pemasangan sekat melintang dapat dijumpai pada semua jenis 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 (tanker) dan kapal pengangkut muatan curah (*Bulk carrier* atau *Ore carrier*). Jika ditinjau dari fungsinya, sekat melintang kapal dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu sekat kedap air (*watertight bulkhead*), sekat kedap minyak, sekat untuk keperluan akomodasi, dan sekat berlubang (*wash bulkhead*) untuk mengatasi efek permukaan bebas muatan cair (Ikhwan & Misbah, 2019).

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 sekat berlubang/ *wash bulkhead* (Mandall, 2017).



Gambar 1. Sekat melintang sebagai pembagi kompartemen kapal

Menurut peraturan BKI tahun 2019 *volume* II, banyaknya sekat kedap air melintang yang harus dipasang pada kapal bergantung pada panjang maksimun kompartemen kapal (*floodable lenght*) 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 :

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

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

Dimana :

$Cp = 1{,}1.\sqrt{f}$ (untuk sekat tubrukan)

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

a = jarak penegar sekat (*stiffener*)

p_s = beban yang diterima sekat (umumnya, p = 9,81.h KN/m^2)

h = Jarak dari pusat beban sampai 1,0 m di atas geladak = 1/2 (H – hdb)+1,0 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/mm^2)

R_{eH} = 235 (N/mm^2) 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 :

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

Dimana : L = Lwl, (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 :

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

Dimana :

Cs = c*oeffisien stiffener*

$Cs = 0{,}33.f$ (untuk sekat tubrukan)

$Cs = 0{,}265.f$ (untuk sekat lainnya)

l = panjang yang tidak ditumpu

$l = H - h_{db}$

m = 1,0

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

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

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 :

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

Dimana l_1 = l 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 :

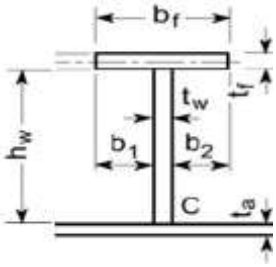
$$Z_x = (b.t_f).(h - t_f) + \frac{t_w}{4}.(h - 2t_f)^2 \text{ (cm}^3\text{)} \quad (7)$$

Dimana :

b = b_f = lebar *flange* (pelat hadap)

t_f = tebal *flange*

h = h_w = tinggi *web* (pelat 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 :

$$t_{br} = c.\sqrt[3]{\frac{W}{k1}} + t_k \quad \text{(mm)} \qquad (8)$$

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 :

$$l_{br} = 46{,}2.\sqrt[3]{\frac{W}{k1}}.\sqrt{k_2}.c_t \text{ (mm)} \qquad (9)$$

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 klassifikasi, 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)*. Struktur *single bottom* terdapat pada kapal kecil seperti kapal tunda, *ferry*, dan kapal kargo dengan berat kurang dari 500 *gross tonnage* (Eyres, 2006*).* Dasar ganda memberikan peningkatan keamanan jika terjadi kerusakan/kebocoran pada bagian bawah, dan juga menyediakan ruang tangki cairan di bagian bawah kapal. 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 pelat kulit *bottom*, *girder,* wrang *(floor)* dan atau *longitudinal*

frame, pelat *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 pelat penuh *(solid floor)* pada setiap jarak gadingnya, Jarak wrang pelat 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). Menurut peraturan BKI tahun 2019 *Volume II section* 24.A.3.3.1., tinggi dasar ganda tergantung dari lebar kapal (B) dimana untuk kapal tanker minyak yang kurang dari 5000 DWT harus dipasang *double bottom* dengan tinggi minimal yang diukur dari garis *bottom* tertinggi adalah :

$$h = \frac{B}{15} \text{ (m) atau hmin = 0,76 m} \qquad (10)$$

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

$$t = 1{,}1.a.\sqrt{p.k} + t_k \text{ (mm)} \qquad (11)$$

Dimana :

a = jarak gading/pembujur (m)

p = beban desain (KN/m2), beban *inner bottom* tergantung dari p_1, p_2 atau p_3

$p_1 = 10.(T\text{-}h_{DB})$

T = tinggi sarat kapal (m)

p_2 = 10.h, jika tanki bentuk *boundary*

h = Jarak dari atas pipa *overflow* sampai *inner bottom*

$p_3 = p_i$ = beban muatan

untuk beban muatan (p_i) berdasarkan BKI 2019 *volume II section 4.C.2* :

$$p_i = 9{,}81.\frac{G}{V}.h.(1 + a_v) \text{ (KN/m}^2\text{)} \qquad (12)$$

Dimana :

G = berat muatan di tangki muat (ton)

V = volume tangki muat (m^3)

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

v_0 = kecepatan kapal , tidak boleh < $\sqrt{L}$

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

$$W = n.c.a.l^2.p.k \text{ (cm}^3\text{)} \qquad (13)$$

Dimana :

n = 0,44 jika p = p_2

n = 0,55 jika p = p_1 atau p_3

n = 0,70 jika p = p_B

p = beban *inner bottom* (KN/m^2)

c = 0,6 jika ada penopang pada l/2

c = 1,0 untuk yang lain

l = jarak yang tidak ditumpu (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 :

$$t_{sg} = \frac{h^2}{120.h_a}\sqrt{k} \quad \text{(mm)} \qquad (14)$$

Dimana :

h = 350 + 45.B (mm)

ha = tinggi *side girder* yang dibuat

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

$$t = (t_m - 2{,}0).\sqrt{k} \quad \text{(mm)} \qquad (15)$$

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

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

$$W = 0{,}55.a.l^2.p.k \quad (\text{cm}^3) \qquad (16)$$

Dimana :

p = beban *inner bottom* (KN/m^2)

a = jarak pembujur

1 = tinggi wrang = hdb

METODE

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 gambar bisa didapatkan data jarak gading/jarak pembujur, panjang sekat, tebal pelat sekat dan ukuran konstruksi lama. Dari data dilakukan perhitungan ukuran konstruksi penambahan sekat dan double bottom berdasarkan rule BKI 2019 Volume II. Perhitungan dimulai dari penentuan tambahan sekat melintang dan tinggi *double bottom,* perhitungan beban sekat dan *inner bottom* kemudian menentukan tebal pelat, menghitung modulus dan menentukan ukuran profil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data ukuran Kapal

Data-data SPOB 3500 DWT ini adalah panjang keseluruan (LOA) 72,52 m; panjang per pendicular (Lpp) 70,20 m; panjang garis air (LWL) 72,00 m; lebar (B) 14,50 m; tinggi (H) 6,50 m; draft (T) 4,60 m; kecepatan (Vs) 10 knots; koefisien Blok (Cb) 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*

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. Dari tabel 1, dapat diketahui bahwa panjang tanki muat I (P/S) dan tanki muat III(P/S) awal adalah 30 jarak gading atau sebesar 18 meter, sedangkan panjang tangki muat II (P/S) awal adalah 14 jarak gading atau sebesar 8,4 meter. Berhubung tanki muat/*cargo oil tank (COT)* I dan III mempunyai panjang 18 meter (>10 m) maka panjang tangki harus diperpendek dengan cara menambah sekat melintang pada tengah-tengah tangki muat. Sekat melintang tambahan tersebut diletakkan pada *frame* (fr.) nomor 40 dan fr. 84. Dengan adanya penambahan sekat melintang ini, maka SPOB ini yang awalnya memiliki tanki muat/*cargo oil tank (COT)* berjumlah 6 tanki yang terdiri dari 3 tanki kiri *(Portside/P)* dan kanan (*Starboard/S)*, tangki muatnya bertambah sehingga memiliki 10 unit yaitu 5 unit tangki kanan kiri dan panjang tangki muat terbesar adalah 9,0 meter sudah sesuai yang disyaratkan BKI. Nama, letak nomer *frame* dan panjang tangki dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Pembagian tangki muat minyak (COT) sebelum dan sesudah modifikasi

Kondisi Awal			Sesudah modifikasi		
Nama Tanki	Sekat melintang Nomer frame	Panjang Tanki (m)	Nama Tanki	Sekat melintang Nomer frame	Panjang Tanki (m)
COT I P/S	69 ~ 99	18	COT I P/S	84 ~ 99	9
COT II P/S	55 ~ 69	8.4	COT II P/S	69 ~ 84	9
COT III P/S	25 ~ 55	18	COT III P/S	55 ~ 69	8.4
			COT IV P/S	40 ~ 55	9
			COT V P/S	25 ~ 40	9

Menurut 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 hasil perhitungan 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 konstruksi sekat melintang tambahan

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

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

sehingga dari rumus 1, 2 dan 3 didapat :

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

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

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

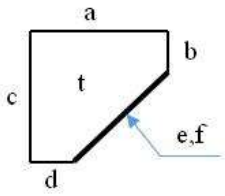
Sehingga direncanakan tebal pelat sekat fr. 40 dan 84 adalah 8,0 mm

Berdasarkan hasil perhitungan di atas dapat dijelaskan bahwa tebal pelat sekat melintang lama frame nomor 25, 55, 69 dan 99 yang terpasang dikapal adalah 8 mm, sehingga dapat dinyatakan masih memenuhi persyaratan BKI 2019. Tebal pelat sekat melintang tambahan fr. 40 dan 84 disamakan dengan yang lama yaitu 8,0 mm

Berdasarkan persamaan 4-6, dimana P_s = 36,74 KN/m^2, C_s = 0,265, m=1 dan k=1 dan komponen lainnya sesuai dalam tabel 2., maka dapat dihitung modulus *stiffener*, *web stiffener* dan *stringer* sekat melintang fr. 40 dan 84. Dari nilai modulus ini, kemudian dilaksanakan perencanaan profil, dan hasil perhitungan modulus dari profil yang direncanakan (W_p) harus lebih besar dari modulus perhitungan tersebut (W), begitu juga dengan luasan pelat *web*nya. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan modulus dan perencanaan profil sekat melintang

Nama bagian	Rumus	a atau e (m)	1 (m)	W (cm^3)	Aw (cm^2)	ukuran profil (mm)	Wprofil (cm^3)	Ap (cm^2)
Stiffener	4	0.75	5.49	220.09		L150x150x12	296.03	
Web stiffener	5 dan 6	3.63	5.49	1103.89	19.98	T450x12+200x12	1332.83	54.00
Stringer sekat	5 dan 6	3.00	7.25	1593.20	39.95	T450x12+200x12	1595.63	54.00



Gambar 3. 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 x c/d x t + e x f x t mm, dimensi lihat gambar 3. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Bracket sekat tambahan

Nama	Ukuran (mm)
Bracket stiffener	250/80 x 250/80 x 10 + 240x100 x 10
Bracket web stiff., dan *stringer*	460/150 x 460/150 x 12 + 440x100 x 12
Bracket pembujur sisi/sekat	300/100 x720 x 10

Perhitungan konstruksi *double bottom*

.Dengan adanya *double bottom* ini, maka diperlukan penyesuaian konstruksi *bottom* yang lama diantaranya adalah penambahan pelat *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, s*ide girder* yang semula ukuran T650x300x12 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 diketahui G = 319,4 ton, V = 358,88 m^3, v_0 = 10 knot, a_v = 0,13, h = 5,49 m maka didapatkan nilai $p_3 = p_i$ = 54,16 KN/m^2 dan p_1 = 54,90 KN/m^2 sehingga dipilih beban terbesarnya 54,90 KN/m^2

Hasil perhitungan komponen konstruksi *double bottom* diantaranya tebal pelat *inner bottom,* pembujur, penumpu sisi, wrang dan bracket berdasarkan persamaan 7 hingga 16, dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan penambahan konstruksi *double bottom*

Nama konstruksi	Rumus	tebal (mm)	ukuran (mm)	Jumlah
Pelat *inner bottom*	11,12	8	51000 x 14500	1
Pembujur *inner bottom*	13,7	12	L 120x120 x 51000	16
Side girder	*14*	12	1010 x 51000	2
Wrang alas penuh	15	10	1010 x 14500	17
Stiffener wrang	16	7	L 70x70 x 1000	260
Bracket web frame	*8.9*	12	650/100 x 650/100	34
Bracket web stiffener long. BHD	*8.9*	12	650/100 x 650/100	17
Bracket stiff, transv. BHD	*8.9*	10	250/80 x 250/80 + 240x100	220
Bracket web stiffener transv. BHD	*8-9*	12	500/150 x 500/150 + 500x100	5
Bracket stiff. wrang	*8,9*	10	150 x 150	520

KESIMPULAN

Untuk memenuhi persyaratan BKI 2019 maka kapal SPOB 3500 DWT ini harus menambah 2 unit sekat melintang pada *frame* no. 40 dan 84 dengan ketebalan pelat 8,0 mm, penegarnya menggunakan profil "L" ukuran 150x150x12 mm, *web stiffener* dan *stringer* sekat ukuran T450x12+200x12 mm

Pelat sekat melintang lama *frame* no. 25, 55, 69 dan 99 yang terpasang dengan tebal 8,0 mm, sudah memenuhi persyaratan BKI 2019 sehingga tidak perlu diganti. Penegar sekat melintang lama ukuran 125x75x10 mm harus diganti dengan ukuran 150x150x12 mm dan ditengah sekat dipasang *web stiffener* ukuran T450x12+200x12 mm.

Kapal harus dibuat *double bottom* setinggi 1010 mm, dengan tebal pelat *inner* bottom 8,0 mm, tebal pelat *side girder* 12 mm, tebal pelat wrang 10 mm, pembujur *inner bottom* ukuran L120x120x12 mm, *stiffener* wrang terbuka ukuran L70x70x7 mm

DAFTAR PUSTAKA

Ardianus, A., Sujiatanti, S. H., & Setyawan, D. (2017). Analisa kekuatan konstruksi sekat melintang kapal tanker dengan metode elemen hingga. Jurnal Teknik ITS, 6(2), G183-G188.

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.

Nur, I. (2017). Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Beban Rancangan (Design Load) Terkait Dengan Perhitungan Konstruksi Kapal-Kapal Niaga Berbahan Baja Menurut Regulasi Klas. Bina Teknika, 11(2), 198-204.

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.

Setyawan, K., Basuki, M., & Soejitno, S. (2018, September). "Study Perencanaan Modifikasi Kapal Lct Km."Trisna Dwitya" Menjadi Kapal Ferry Di Pt. Dok Perkapalan Surabaya (Persero) Ditinjau Dari Segi Teknis". In Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan (pp. 109-114).