

# PENGGUNAAN SANDWICH PLATE SYSTEM (SPS) PADA KONSTRUKSI INNER BOTTOM

Achmad Baidowi<sup>1</sup>, Edy Utomo<sup>1</sup>, Fiqih D.K<sup>1</sup>, Hery Indria<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) Jurusan Teknik Produksi dan Material Kelautan, Program Studi Teknologi Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Indonesia  
Email : [ahmadbai@gmail.com](mailto:ahmadbai@gmail.com) , [edyutomo99@gmail.com](mailto:edyutomo99@gmail.com)

## Abstrak

Perkembangan teknologi yang semakin maju memberikan alternatif-alternatif dalam memperbaiki berbagai bentuk sistem, termasuk di dalamnya konstruksi struktur kapal. Latar belakang dari penelitian ini adalah pada permasalahan kebutuhan material ringan pada kapal, kecepatan proses produksi, penyederhanaan konstruksi dan biaya perawatan kapal yang rendah. Penggunaan material ringan *Sandwich Plate System* (SPS) menjadi salah satu jawaban dari permasalahan-permasalahan tersebut, penggunaan SPS dapat menyederhanakan bentuk dari konstruksi kapal dengan menghilangkan penegar *inner bottom longitudinal* dan mampu mengurangi *Light Weight Tonnase* (LWT). Artikel ini membahas perbandingan pola distribusi tegangan dan deformasi pada konstruksi *bottom* yang menggunakan SPS dan baja AH36, selain dari itu juga mengetahui seberapa besar pengurangan LWT yang dihasilkan untuk meningkatkan *Payload* kapal.

Analisa dilakukan dengan simulasi numerik berdasarkan FEM pada konstruksi *inner bottom* dengan pembebanan muatan. Dari hasil simulasi didapatkan besar tegangan maksimal untuk material baja AH36 sebesar 226 Mpa dengan menggunakan penegar, sedangkan konstruksi dengan material SPS tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 221 Mpa tanpa penggunaan penegar, dengan deformasi maksimal untuk AH36 dan SPS yaitu 77 mm yang terjadi pada bagian tengah blok konstruksi *inner bottom*. Dengan hilangnya penegar berat konstruksi berkurang sebesar 13,05% dari penggunaan material baja AH36 sehingga memberikan peningkatan *payload* sebesar 13,05%. Simulasi penelitian dilakukan pada kapal *Bulk Carrier* (BC).

Kata kunci : *Sandwich Plate System*(SPS), *Finite Element Method* (FEM), LWT, *Payload*, *Inner Bottom Plate*,

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin maju memberikan alternatif-alternatif dalam memperbaiki berbagai bentuk sistem, termasuk di dalamnya konstruksi struktur kapal, terutama pada perkembangan material yang terbaru (*Advanced materials*) untuk diaplikasikan pada pembangunan kapal. Seperti kemajuan penelitian material ringan untuk kapal.

Kapal pada umumnya menggunakan material baja sebagai material pembentuk utamanya yang akan memberikan kontribusi berat konstruksi yang merupakan bagian dari LWT (*Light Weight Tonnes*) pada kapal. Pengurangan berat konstruksi dapat memberikan kontribusi peningkatan berat muatan (*payload*), sehingga dapat meningkatkan jumlah muatan pada kapal. Selain dari hal tersebut faktor ekonomi dari produksi sebuah kapal juga menjadi

pertimbangan diadakanya material maju yang lebih ringan, namun juga memiliki ketahanan terhadap korosi, ketahanan panas serta kekuatan dari material itu sendiri. Proses produksi yang lebih cepat dapat juga memberikan keuntungan dalam proses pembangunan kapal.

Beberapa material maju yang memiliki karakteristik-karakteristik seperti yang diuraikan di atas telah banyak dikembangkan, salah satunya adalah hadirnya material SPS (*Sandwich Plate System*). SPS material merupakan material ringan yang terdiri dari dua pelat baja yang dipisahkan oleh bagian inti (*core*) berupa elastomer. Pelat terbuat dari baja yang disatukan melalui parameter bar dibagian tepi pelat, *Polyurethane* elastomer berada diantara kedua pelat tersebut dengan proses injeksi [1,2].

Dalam paper ini akan disimulasikan perhitungan kekuatan dari konstruksi *inner bottom* pada kapal *bulk carrier* dengan

menggunakan material eksisting yaitu baja dan membandingkannya dengan penggunaan material SPS, selain dari pada itu penelitian ini juga akan melakukan investigasi seberapa besar pengurangan berat konstruksi hingga didapatkan seberapa besar peningkatan *payload* pada kapal.

Pemodelan untuk perhitungan konstruksi struktur dilakukan dengan menggunakan SAP200 dengan dasar metodenya adalah FEM (*Finite Element Method*), dengan pendekatan pemilihan elemen *shell*. Regulasi yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada regulasi *Lloyd Register* untuk penggunaan SPS.

Objek penelitian dilakukan pada kapal *bulk carrier*, pada struktur lokal pada konstruksi *inner bottom* untuk satu kompartemen ruang muat.

## 2. KERANGKA TEORITIS

### 2.1. Material *sandwich Plate System* (SPS)

Awal pembentukan material ini dibentuk menyerupai serat yang didesain untuk menandingi serat nylon. Akan tetapi penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa *Polyurethane* bukan hanya digunakan sebagai serat, tapi dapat juga digunakan untuk membuat busa (*foam*), bahan elastomer (karet/plastik), lem, pelapis (*coating*), dan lain-lain [2].

*Intelligent Engineering Ltd* (IE) merupakan pemilik hak paten pada produksi material SPS ini bersama dengan mitra industrinya *Elastogran GmbH*, anggota *BASF Group*, telah melakukan pengujian pada material SPS. Spesifikasi karakteristik material diuji pada temperature-temperatur operasional ekstrim yaitu  $-45^{\circ}\text{C}$  sampai  $+100^{\circ}\text{C}$ . Pengujian *mechanical properties* dari material elastomer terdiri dari: berat jenis material, kekuatan tarik, kekuatan kompresi, modulus geser dan poisson rasio yang telas sesuai dengan standarisasi dari ASTM dan DIN [1].



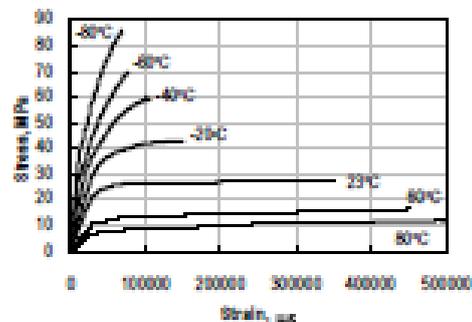
Gambar 1. Bentuk *Sandwich Plate System* (SPS) material.

Gambar 1 merupakan gambar bentuk material SPS, dengan 3 lapisan. Lapis pertama merupakan *top plate steel*, lapis kedua merupakan lapisan *core polyurethane elastomer*, lapis ketiga merupakan *bottom plate steel*.

Tabel. 1 Karakteristik material elastomer

Test Results							
Density							
$\rho_e = 1150 \text{ kg/m}^3$							
Tensile Behaviour							
Property	$-80^{\circ}\text{C}$	$-60^{\circ}\text{C}$	$-40^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C}$	$23^{\circ}\text{C}$	$60^{\circ}\text{C}$	$80^{\circ}\text{C}$
E (MPa)	3859	2924	1765	1164	874	436	248
$\sigma_y$ (MPa)	38.9	29.5	28.4	23.0	16.1	8.1	6.2
$\epsilon_u$ (%)	7.2	11.1	13.2	15.1	32.1	43.1	47.4
Compressive Behaviour							
Property	$-80^{\circ}\text{C}$	$-60^{\circ}\text{C}$	$-40^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C}$	$23^{\circ}\text{C}$	$60^{\circ}\text{C}$	$80^{\circ}\text{C}$
E (MPa)	3878	2813	1347	1166	765	501	336
$\sigma_y$ (MPa)	52.1	33.5	30.9	21.4	18.0	10.2	7.9
Shear Modulus (Torsion Pendulum Test)							
Property	$-80^{\circ}\text{C}$	$-60^{\circ}\text{C}$	$-40^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C}$	$23^{\circ}\text{C}$	$60^{\circ}\text{C}$	$80^{\circ}\text{C}$
G (MPa)	1386	955	559	429	285	180	135
Poisson Ratio							
$\nu = 0.36$							
Thermal Expansion Coefficient							
Property	$-30^{\circ}\text{C}$	$-10^{\circ}\text{C}$	$10^{\circ}\text{C}$	$30^{\circ}\text{C}$	$50^{\circ}\text{C}$	$70^{\circ}\text{C}$	
$\alpha$ ( $\times 10^{-6} \text{ m/m}^{\circ}\text{C}$ )	96.1	120.1	133.6	148	162.5	184.7	
Specific Heat							
Property	$-20^{\circ}\text{C}$	$23^{\circ}\text{C}$	$60^{\circ}\text{C}$	$80^{\circ}\text{C}$			
c (J/kg $^{\circ}\text{C}$ )	1217	1414	1588	1687			
Thermal Conductivity							
$k = 0.1774 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ (R-value/mm thickness = $0.032^{\circ}\text{F}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{h/Btu}$ )							

Tabel.1 merupakan karakteristik material elastomer SPS hasil pengujian yang telah dilakukan oleh IE [1].



Gambar 2. Grafik hubungan *strees – strain* dari elastomer SPS.

Gambar 2 menunjukkan grafik hubungan *strees-strain* hasil pengujian yang dilakukan oleh IE [1].

Selain dari pengujian untuk karakteristik *mechanical properties* dan *thermal properties*. Pengujian lain juga dilakukan pada SPS, yang meliputi [1]:

1. Ketahanan *fatigue* (*S-N curves*) pada ikatan antar bidang plat dan sambungan las

- untuk penggabungan antara setiap panel SPS.
2. Ketahanan pada air laut dan ketahanan kimia pada elastomer harus bertahan selama proses pengoperasian material.
  3. Ketahanan terhadap getaran dan peredaman terhadap kebisingan, SPS memberikan ketahanan yang jauh lebih baik dari penggunaan baja.
  4. Ketahanan terhadap balistik, diuji dengan dimensi peluru 7,62 mm, hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa kurva balistik untuk SPS berada dibawah dari baja yang menunjukkan SPS lebih memiliki ketahanan terhadap ketahanan balistik dibandingkan dengan material baja.
  5. Ketahanan terhadap bahaya kebakaran, IMO menilai pada struktur SPS dengan ukuran (SPS 4-25-4) mampu bertahan pada kebakaran selama 60 menit.
  6. Ketahanan terhadap ledakan, menunjukkan hasil SPS lebih baik dari baja sehingga tepat digunakan untuk keperluan militer .
  7. Ketahanan *Impact*, menunjukkan hasil *impact* SPS lebih baik dari baja sehingga sangat baik untuk perlindungan kontaminasi air laut dari adanya kepecahan lambung.

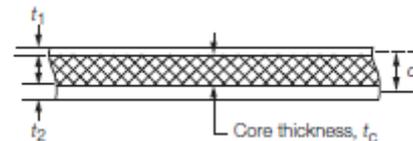
Selain dari hal tersebut, penggunaan struktur SPS sangat memungkinkan untuk kembali digunakan atau dalam arti lain dapat dilakukan daur ulang ketika umur penggunaannya telah habis. Pelat logam dapat dilepas dari elastomernya dan dapat didaur ulang berdasarkan prosedur yang diizinkan. Begitu juga dengan elastomer dapat didaur ulang kembali untuk dijadikan material SPS baru. Elastomer tidak berbahaya dan dapat dibuang dikarenakan memiliki dampak lingkungan yang sangat minimal [1].

Penggunaan struktur SPS sendiri telah diatur pada klasifikasi *Llyod Registry* yang mengatur penggunaan struktur SPS sebagai konstruksi baru dan juga sebagai konstruksi *overlay* yang difungsikan untuk penggantian material baja pada kapal pada proses reparasi kapal [1-2].

## 2.2. Klasifikasi penggunaan SPS oleh *Llyod Register (LR) 2006*.

Penggunaan struktur SPS yang diaplikasikan pada pembangunan kapal telah diatur dalam kelas LR (*Provisional Rules for*

*The Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*) [3]. Beberapa bagian yang dibahas dalam aturan tersebut diantaranya seperti, penggunaan SPS pada konstruksi baru, dan konstruksi *overlay*, selain dari pada itu LR juga memberikan standarisasi ketebalan minimum pada pelat logam bagian atas dan bawah (*top and bottom plate thickness*) serta ketebalan minimum inti elastomer (*core thickness*).



Gambar 3. *Steel sandwich panel scantling definition*

Beberapa symbol yang digunakan untuk aturan pada penggunaan konstruksi *sandwich* :

$a$  = Panjang panel terpanjang, (mm)

$b$  = Lebar panel terpendek, (mm)

$d = 0,5(t_1 + t_2) + t_c$ , (mm)

$D$  = *Flexural rigidity sandwich*, (mm)

$$\frac{E_f t_1 t_2 d^2}{(t_1 t_2)}$$

$E_f$  = Modulus elastisitas *top dan bottom plate* (Mpa), steel = 200.000 Mpa

$G_c$  = Desain modulus geser minimum pada *core* Material, (Mpa)

$t_1$  = tebal *top plate*, (mm)

$t_2$  = tebal *bottom plate*, (mm)

$ta_1$  = tebal yang diberikan, *top plate*, (mm)

$ta_2$  = tebal yang diberikan, *bottom plate*, (mm)

$t_c$  = tebal *core elastomer* (mm)

$\nu$  = Poisson rasio, 0,3.

Untuk konstruksi baru pada penggunaan SPS indeks kekuatan ( $R$ ), dihitung berdasarkan persamaan berikut [3] :

$$R = 0,01 A_R 0,1 \left[ \frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left( \frac{b t_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] k P_{eq,R} \quad (1)$$

Dimana :

$$A_R = \left( \frac{a}{b} \right)^{0,65}$$

$$P_{eq,R} = 0,0017 \frac{Z_{rule}}{l^2} \quad (\text{Mpa})$$

$l$  = panjang panel (meter)

$Z_{rule}$  = Equivalent section modulus ( $\text{cm}^3$ )

$k$  = faktor bahan.

Indeks kekuatan untuk panel baja *sandwich* harus sesuai dengan  $R \leq 1$  [3].

Penentuan ketebalan dari penggunaan SPS untuk  $t_1$ ,  $t_2$  dan  $t_c$  dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (1) dengan menginputkan parameter nilai ketebalan pelat dan elastomer.

Untuk *equivalent section modulus* dihitung berdasarkan perhitungan yang digunakan pada kapal eksisting.

### 2.3. Pemilihan Jenis Elemen

FEM, metode elemen hingga merupakan metode numeris untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis, seperti pada analisa struktur kapal. Dalam kasus analisa struktur, penyelesaian yang didapatkan melalui FEM adalah Deformasi pada setiap *nodes* yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan besaran-besaran regangan (*strain*) dan tegangan (*strees*) [4,5].

### 2.4. Shell elemen pada FEM

Elemen *shell* yang dapat dinyatakan sebagai *triangular element*, merupakan elemen sederhana karena dapat dibuktikan regangan di setiap titik pada elemen tersebut [4,5].

Fungsi perpindahan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [5] :

$$[N] = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{1}{2\Delta} [a_1 + b_1x + c_1y] \\ N_2 &= \frac{1}{2\Delta} [a_2 + b_2x + c_2y] \\ N_3 &= \frac{1}{2\Delta} [a_3 + b_3x + c_3y] \end{aligned} \quad (3)$$

Sedangkan konstanta  $a$ ,  $b$  dan  $c$  dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a_1 &= x_2y_3 - x_3y_2 ; a_2 = x_3y_1 - x_1y_3 ; a_3 = x_1y_2 - x_2y_1 \\ b_1 &= y_2 - y_3 ; b_2 = y_3 - y_1 ; b_3 = y_1 - y_2 \\ c_1 &= x_3 - x_2 ; c_2 = x_1 - x_3 ; c_3 = x_2 - x_1 \end{aligned} \quad (4)$$

dengan  $x, y, z$  merupakan koordinat nodal pada elemen.

Komponen regangan untuk elastisitas dua dimensi terdiri atas  $\epsilon_x$ ,  $\epsilon_y$  dan  $\gamma_{xy}$  yang dinyatakan sebagai [5].

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (5)$$

Sehingga, matriks regangan dari bentuk diatas dapat dinyatakan sebagai [B], berikut.

$$[B] = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} b_1 & 0 & b_2 & 0 & b_3 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 & c_2 & 0 & c_3 \\ c_1 & b_1 & c_2 & b_2 & c_3 & b_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Persamaan tegangan regangan untuk elastisitas dua dimensi dapat dituliskan dalam bentuk matriks elastisitas [D], sebagai berikut :

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E}{1-\nu^2} & \frac{\nu E}{1-\nu^2} & 0 \\ \frac{\nu E}{1-\nu^2} & \frac{E}{1-\nu^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E}{2(1+\nu)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = [D] \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

Sehingga kekakuan elemen dapat dinyatakan berdasarkan persamaan berikut :

$$[k] = \int [B]^T [D] [B] d(V) \quad (8)$$

Dalam persamaan tersebut, matriks [D] adalah matriks elastisitas dan matriks [B] adalah matriks yang menghubungkan regangan dan perpindahan, apabila parameter ketebalan elemen digunakan maka persamaan (8) tersebut akan menjadi sebagai berikut :

$$[k] = t\Delta [B]^T [D] [B] \quad (9)$$

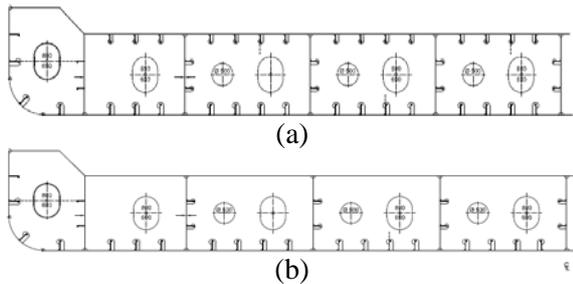
Dimana  $t$  adalah tebal elemen yang diasumsikan konstan

Selanjutnya dasar-dasar persamaan inilah yang digunakan dalam penyelesaian penelitian dengan menggunakan alat bantu *software* SAP2000.

## 3. STUDI KASUS INNER BOTTOM

### 3.1. Objek penelitian.

Objek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah konstruksi *inner bottom* pada kapal *bulk carrier* 11.000 DWT. Pada konstruksi eksisting material untuk kapal tersebut menggunakan material baja untuk keseluruhan konstruksi, sedangkan pada penggunaan material SPS hanya dilakukan untuk menggantikan *inner bottom plate* pada konstruksi tersebut dengan menghilangkan penggunaan *inner bottom longitudinal* sebagai penegar.



Gambar 5 (a) Eksisting *bottom construction*, (b) SPS *bottom construction*.

Dimensi blok konstruksi alas yang dianalisis adalah sebagai berikut :

1. Lebar (B) blok :24,40 meter
2. Panjang (L) blok :24,00 meter
3. Beban muatan : 98.2 kN/m<sup>2</sup>( diambil kondisi ekstrim)

Dimensi tersebut hanya pada satu kompartemen ruang muat.

### 3.2. Perhitungan ketebalan material SPS.

Ketebalan pelat alas dalam pada konstruksi eksisting adalah 18 mm. Sedangkan untuk penentuan ketebalan setiap lapisan pada SPS dihitung dengan menggunakan persamaan (1), dengan *load case* dan modulus penampang berdasarkan data dari kapal eksisting.

Dari perhitungan ketebalan material SPS didapatkan penggunaan SPS untuk menggantikan baja pada *inner bottom plate* adalah (SPS 6-15-6). Untuk  $t_1 = 6$  mm ;  $t_2 = 6$  mm ;  $t_c = 15$  mm. dimana  $t_1$  adalah tebal atas pelat baja,  $t_2$  adalah tebal baja lapisan bawah, sedangkan  $t_c$  adalah tebal core *polyurethane elastomere*.

### 3.3. Pemodelan konstruksi dan estimasi distribusi tegangan dan deformasi struktur.

Pada tahap ini dilakukan pemodelan konstruksi *bottom* baik pada kondisi eksisting dan kondisi konstruksi dengan menggunakan material SPS. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan CAD dalam model 3 dimensi, yang kemudian dilakukan import data model 3D ke SAP 2000 untuk analisis distribusi tegangan dan deformasi struktur.

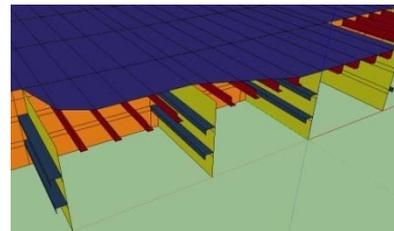
Berikut ini material properties pada model eksisting yang menggunakan material baja.

1. Modulus Elastisitas= 200,000 Mpa
2. Tegangan Leleh = 335 Mpa (AH36)
3. Tegangan putus = 490 Mpa (AH36)
4. Poisson rasio = 0,3

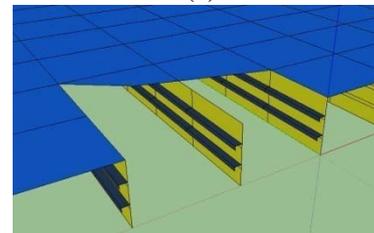
$$5. \text{ Density} = 7,85 \text{ t/m}^3.$$

Sedangkan untuk penggunaan material SPS digunakan material properties berdasarkan hasil tes yang telah dilakukan (Tabel.1) pada temperatur operasional diasumikan pada suhu 23°C.

Berikut ini hasil pemodelan yang dilakukan pada kedua konstruksi *bottom*, yang ditunjukkan pada Gambar 6 di bawah ini.



(a)

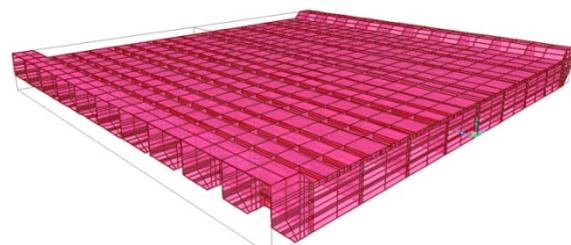


(b)

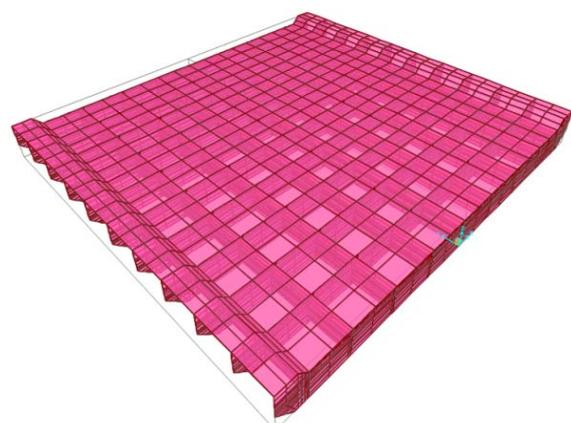
Gambar 6. *Modeling 3D bottom construction* (a) Eksisting model, (b) SPS model

Perhitungan untuk mencari distribusi tegangan dan deformasi struktur dilakukan pada SAP2000, dari hasil yang didapatkan untuk tegangan maksimum pada bagian *inner bottomplate* harus kurang dari tegangan yang di ijinakan yaitu sebesar 315 Mpa.

Berikut ini adalah bentuk pemodelan konstruksi *bottom* pada SAP 2000 untuk kondisi eksisting dan SPS.



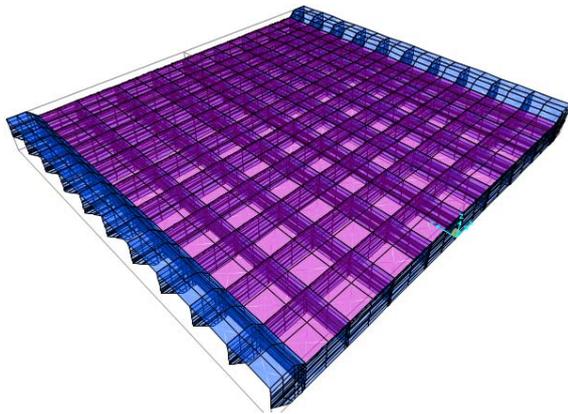
(a)



(b)

Gambar 7. Modeling bottom construction SAP2000 (a) eksisting construction (b) SPS construction

Dengan pembebanan yang digunakan hanya pada beban muatan plat *inner bottom*, sebesar  $100 \text{ kN/m}^2$ . Posisi beban dimodelkan membebani keseluruhan permukaan plat *inner bottom*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 8



Gambar 8. Model pembebanan pada *bottom construction*.

Pada gambar 8 menunjukkan posisi pembebanan pada bidang pelat *inner bottom* yang ditunjukkan pada warna ungu. Sedangkan warna biru menunjukkan posisi konstruksi bebas tanpa adanya pembebanan.

### 3.4. Estimasi berat dan pengurangan berat konstruksi.

Pada tahap ini, dilakukan estimasi berat konstruksi dari masing-masing kondisi, yaitu kondisi penggunaan material baja sebagai eksisting konstruksi dan penggunaan material SPS. Selanjutnya dilakukan investigasi untuk mengetahui seberapa besar pengurangan berat yang dikontribusikan dari penggunaan SPS untuk menggantikan baja pada *inner bottom plate*.

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui seberapa besar *payload* yang dapat

ditingkatkan dari hasil pengurangan berat yang didapatkan berdasarkan penggunaan konstruksi yang telah dibandingkan.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

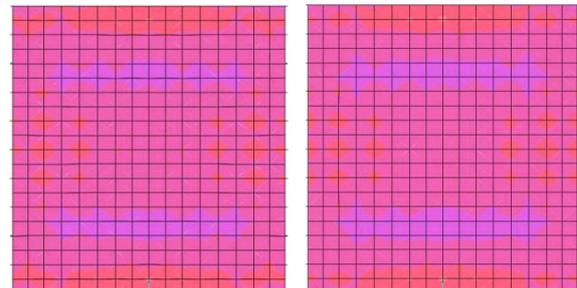
Hasil tegangan maksimum yang terjadi pada *inner bottom plate* pada kedua bentuk konstruksi tersebut ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil tegangan maksimum

Model	$\sigma_{\max}$	$d$	$\sigma_{\text{izin}}$
Steel AH36	266 Mpa	77mm	315 Mpa
SPS	221 Mpa		315 Mpa

Dari tabel 2 menunjukkan nilai tegangan maksimum untuk kedua penggunaan material pada *inner bottom plate*, yang menunjukkan penggunaan material baja dan material SPS kurang dari tegangan izin yang diberikan.

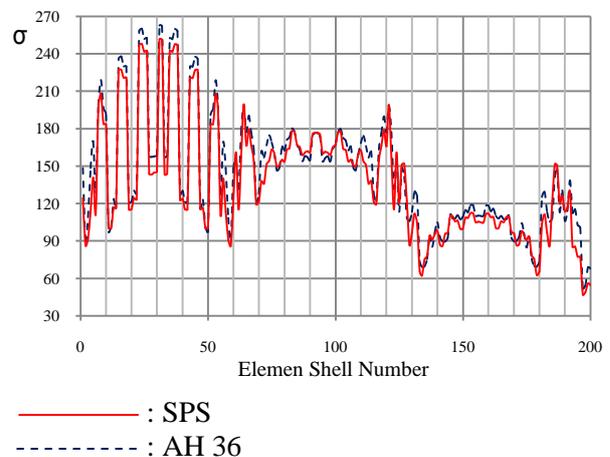
Untuk mengetahui perbandingan kekuatan dari penggunaan kedua material tersebut maka dilakukan perbandingan pada tegangan yang terjadi pada elemen *shell* pada model untuk kedua material.



(a)

(b)

Gambar 9. Pola distribusi tegangan pada plat *inner bottom* (a) steel AH36 (b) SPS



— : SPS

- - - : AH 36

Gambar 10. Kurva perbandingan nilai tegangan pada elemen *shell* 0 sampai 50.

Dari gambar 10 di atas menunjukkan pola nilai tegangan pada elemen *shell* yang dibagi pada konstruksi *inner bottom*. dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa bentuk pola kurva yang sama namun tegangan yang terjadi pada SPS dominan lebih kecil, rata-rata pengurangan tegangan yang terjadi adalah sebesar 4,71 %.

Sehingga dapat disimpulkan, bahwa penggunaan SPS untuk menggantikan pelat baja pada konstruksi *inner bottom* dapat mengurangi distribusi tegangan yang dihasilkan dari penggunaan material baja sebelumnya, walaupun tanpa menggunakan *inner bottom longitudinal* dari konstruksi tersebut.

Dari estimasi berat konstruksi antara Baja AH36 dan SPS sebagaimana ditunjukkan Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan hasil perbandingan berat konstruksi *inner bottom* dari kapal *Bulk Carrier*. Penggunaan material SPS sebagai pelat *inner bottom* mampu mengurangi berat konstruksi sebesar 13,05%.

Dengan pengurangan berat konstruksi tersebut, maka dapat memberikan peningkatan pada *payload* kapal sebesar 13,05%.

Tabel 3. Estimasi berat konstruksi *bottom* dengan penggunaan material baja.

Item	Jml	A	t	V	W
		m <sup>2</sup>	mm	m <sup>3</sup>	Ton
Solid Floor	11	20,88	9	2,06	16,23
Margin Plate	1	2,04	15,75	0,32	2,552
Bilge Plate	1	65,54	10,5	0,69	5,40
Girder					
Side Girder	8	43,2	10,5	3,73	28,45
Center Girder	1	43,2	12,5	0,54	4,24
Long Stiff	88	21,2	9,5	17,6	138,60
Bilge					
Web	11	3,43	10,5	0,40	3,11
main	40	1,33	10,5	0,56	4,38
Inner Bottom Plate	1	273,6	15,7	4,31	33,83
Outer bottom plate	1	278,4	9	2,51	19,67
<b>Jumlah Berat Konstruksi Inner Bottom Plate</b>					<b>236,80</b>

Tabel 4. Estimasi berat konstruksi *bottom* dengan penggunaan material SPS.

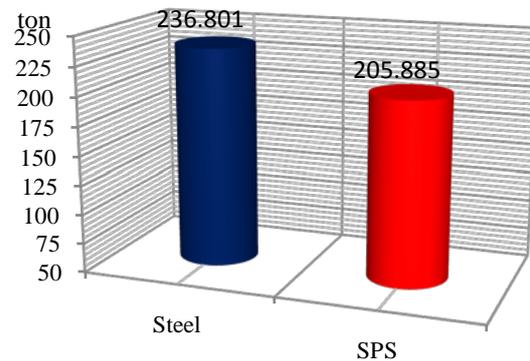
Item	Jml	A	t	V	W
		m <sup>2</sup>	mm	m <sup>3</sup>	Ton
Solid Floor	11	20,88	9	2,06	16,23
Margin Plate	1	2,04	15,75	0,32	2,552
Bilge Plate	1	65,54	10,5	0,69	5,40
Girder					
Side Girder	8	43,2	10,5	3,73	28,45
Center Girder	1	43,2	12,5	0,54	4,24

Long Stiff	58	21,2	9,5	11,6	91,35
Inner Bottom Plate					
Top Plate	1	273,6	6	1,64	12,89
Core	1	273,6	15	4,10	4,72
Bottom Plate	1	273,6	6	1,64	12,89
Outer bottom plate	1	278,4	9	2,51	19,67
<b>Jumlah Berat Konstruksi Inner Bottom Plate</b>					<b>205,88</b>

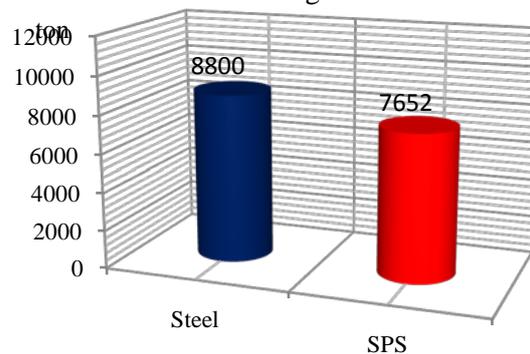
Tabel 5. Perbandingan *payload*

Material	Payload
Steel AH36	8800,00 Ton
SPS	7651,60 Ton

Sehingga dapat disimpulkan dengan menghilangkan penegar pada *inner bottom plate* pada penggunaan SPS material, dapat memberikan peningkatan pada *payload* kapal yang dihasilkan dari pengurangan berat konstruksi *inner bottom*, namun tidak mengurangi segi kekuatan pada struktur tersebut. Penambahan kapasitas *payload* yaitu sebesar 1148,4 ton, merupakan kontribusi yang besar terhadap pendapatan kapal.



Gambar 11. Perbandingan berat konstruksi



Gambar 12. Perbandingan peningkatan *payload* kapal

Gambar 11 diatas menunjukkan bagan perbandingan berat konstruksi yang dihasilkan dari masing-masing penggunaan material,

dimana menunjukkan SPS memiliki berat konstruksi yang jauh lebih ringan dibandingkan dengan penggunaan material baja. Sedangkan gambar 12 menunjukkan peningkatan *payload* kapal dari pengurangan yang dihasilkan pada berat konstruksi.

Dengan peningkatan *payload* maka dalam operasional kapal dapat mengangkut muatan jauh lebih banyak daripada dalam kondisi *payload* awal, sehingga dapat memberikan keuntungan dengan lebih banyaknya muatan yang dapat diangkut.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Kekuatan material SPS adalah sama bahkan lebih baik dari pada baja AH36. Pada bentuk konstruksi bottom yang dianalisis. Hal ini ditunjukkan berdasarkan hasil analisa distribusi tegangan yang terjadi pada *inner bottom plate*.
2. Penggunaan SPS untuk menggantikan baja pada plat *inner bottom* dapat memberikan kontribusi pengurangan berat konstruksi sebesar 13,05% dengan menghilangkan penggunaan *inner bottom longitudinal* pada *inner bottom plate*.
3. Dari hasil pengurangan berat konstruksi yang terjadi dapat memberikan kontribusi peningkatan *payload* pada kapal sebesar 13,05 %, dari *payload* awal kapal sebesar 8800 ton menjadi 7651,6 ton, dengan penambahan *payload* baru sebesar 1148,4 ton.
4. Kemudahan dan kecepatan proses produksi juga memberikan peran dalam penggunaan SPS, sehingga memberikan bentuk konstruksi yang jauh lebih sederhana.

Beberapa saran yang diberikan untuk perkembangan penelitian ini diantaranya sebagai berikut :

1. Penelitian dapat dilanjutkan dalam hal kajian analisis untuk faktor biaya produksi dan biaya operasional dari kapal ketika menggunakan material SPS yang dibandingkan dengan material baja.
2. Untuk mendapatkan hasil yang lebih valid, pemodelan penggunaan material SPS dapat diteliti lebih lanjut pengaplikasiannya pada

bagian konstruksi kapal yang lain, seperti pada *navigation deck*, *double side*, bahkan pada *web* dan *main frame* yang sekiranya dapat digantikan.

3. Untuk penelitian lebih lanjut dapat menambahkan input beban lain selain beban muatan pada *inner bottom plate*, bahkan dapat dilakukan pemodelan untuk torsional kapal untuk mendapatkan pola kekuatan dari struktur yang jauh lebih baik.

Demikian hasil penelitian yang dilakukan untuk identifikasi penggunaan material SPS sebagai material pembentuk kapal yang digunakan sebagai plat *inner bottom* pada kapal *bulk carrier*. Sangat diharapkan pengembangan dari penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang jauh lebih baik. Atas kekurangan yang terjadi dalam penelitian ini penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya. Terima kasih.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brooking.M.A and Kennedy.S.J, "The Performance, Safety and Production Benefits of SPS Structures for Double Hull Tankers", in proceedings of the RINA conference on Double Hull Tankers, 25-26.02.2004, London, UK, PP.1-2.
- [2] Momcilovic.N and Motok.M, "Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of Application of Sandwich Plate System", Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia, 2009.
- [3] Llyod's Register, "Provisional rules for the application of Sandwich panel construction to ship structure", Llyod's Register, UK, 2007.
- [4] Logan Daryl. L, "A Frist Course in The Finite Element Method Fourth Edition", University of Wisconsin - Platteville, Copyright by Nelson Advision of Thomson Canada, Thomson Learning 5 Shenton way #01-01 UIC Building, Singapore, 2007.

- [5] Alisjahbana.S.W, “*Basic Principles of Finite Element Method*”, Universitas Tarumanegara, Jakarta, Indonesia, 1998.
- [6] IE, “*SPS The Sandwich Plate System Heavy Engineering Composite From Intelligent Engineering*”, <http://www.ie-sps.com>
- [7] Lloyd’s Register, “*Common Structural Rules for Bulk Carriers*”, Lloyd’s Register, UK, 2007.
- [8] SAP2000, “*Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three Dimensional Structures*”, Computer and Structures, Inc, University Ave Berkeley, California, US, 1978-2011.