



Analisa Kekuatan Penerapan *Sandwich Plate System* (SPS) Pada Tank Deck Kapal Landing Ship Tank (LST) 7000 DWT

Seto Yuwanto¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾, Hartono Yudo¹⁾

¹⁾Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : setoyuwan@gmail.com, ahmadfazakki@yahoo.com, hartono.yudo@yahoo.com

Abstrak

Di era modern ini kemajuan teknologi memberikan banyak inovasi salah satunya industri perkapalan, termasuk didalamnya konstruksi struktur kapal, terutama dalam perkembangan material terbaru untuk diaplikasikan pada konstruksi kapal. Material SPS (*Sandwich Plate System*) merupakan material dalam bentuk komposit lapisan sebagai pengganti material baja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mengenai penerapan sandwich pada konstruksi tank deck sehingga dapat diketahui perbandingan berat dan tegangan maksimum yang memenuhi standar atau safety factor dari class yang di gunakan. Pemodelan dan analisa menggunakan software berbasis finite element. Dari hasil penelitian didapatkan konfigurasi ketebalan SPS face plate atas 4 mm bawah 3 mm sedangkan tebal core material 20 mm (4-20-3) dan pengurangan konstruksi di bagian deck long saat menggunakan SPS. Untuk tegangan von mise pada konstruksi saat menggunakan plate baja pada kondisi air tenang 76 N/mm², kondisi sagging 160 N/mm², kondisi hogging 136 N/mm², dengan berat konstruksi 1424,5 ton sedangkan dengan variasi sandwich panel kondisi air tenang 81,3 N/mm², kondisi sagging 165 N/mm², kondisi hogging 142 N/mm², dengan berat konstruksi 1357,8 ton. Hasil dari perhitungan ini menunjukkan tegangan maksimal saat menggunakan variasi SPS dan kapal dalam keadaan sagging sebesar 165 N/mm², deformasi sebesar 7,24 cm dan penurunan berat konstruksi 4,5 % dari baja.

Kata Kunci : *Sandwich Plate System*, Tank deck, Safety Factor, Tegangan, Berat Konstruksi

1. PENDAHULUAN

Di era modern ini kemajuan teknologi memberikan banyak inovasi salah satunya industri perkapalan, termasuk didalamnya konstruksi struktur kapal, terutama dalam perkembangan material terbaru untuk diaplikasikan pada konstruksi kapal. Salah satunya hadirnya material SPS (*Sandwich Plate System*). Material SPS (*Sandwich Plate System*) merupakan material dalam bentuk komposit lapisan sebagai pengganti material baja.

Struktur kapal yang dibangun menggunakan *sandwich panel* lebih ringan dari pada menggunakan struktur baja. Tekanan pada struktur *sandwich panel* juga kurang dari struktur baja dan diantara keduanya yang berada dibawah tegangan luluh bahan adalah tekanan *sandwich panel* yang jauh lebih rendah dari tegangan luluh[1]. Dalam perkembangan industri perkapalan yang menjadi salah satu faktor utama dalam perancangan sebuah kapal adalah *lightweight*. Perhitungan *lightweight*

pada konstruksi geladak kendaraan (*tank deck*) sangat di perhitungkan mengingat beban yang terima oleh geladak relatif lebih besar.

Menggunakan struktur konstruksi material SPS (*Sandwich Plate System*) dapat membuat kemungkinan memberikan kesederhanaan bentuk konstruksi tanpa mengurangi nilai kekuatan dari konstruksi[2].

Pengurangan berat konstruksi dan penggunaan bahan ringan dapat memberikan kontribusi peningkatan berat muatan (*payload*), kecepatan lebih tinggi dan menurunkan konsumsi bahan bakar. Adapun beberapa keuntungan dalam pemakaian *sandwich panel*[3]yaitu:

1. Rasio kekakuan terhadap berat yang tinggi, membuatnya sesuai untuk desain ringan.
2. Ketahanan tekuk yang baik dibandingkan dengan struktur plat orthotropik tipis.
3. Sifat *crashworthiness* yang baik.

4. Mengurangi ketinggian konstruksi (dibandingkan dengan plat berpenegar) untuk meningkatkan pemanfaatan ruang kosong.

Penelitian lain melakukan evaluasi berat konstruksi pada 21 model Barge dari berbagai jenis muatan dan bentuk kombinasi konstruksi penegar dengan menggunakan SPS. Berdasarkan evaluasi tersebut dihasilkan reduksi berat yang dapat diperoleh dengan penerapan struktur SPS tidak lebih dari 15%, sebagian besar model Barge yang diteliti memberikan nilai reduksi yang bervariasi antara 5% dan 8%[4].

Penelitian sebelumnya melakukan eksperimen dan simulasi numerik pada performa, keselamatan dan keunggulan produksi pada SPS yang diterapkan pada struktur *double hull* kapal tanker. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan perbandingan berat penggunaan SPS jauh lebih ringan dari penggunaan material baja[13].

Intelligent Engineering (2015) juga telah melakukan pengujian terhadap proteksi perlindungan pada lingkungan, dengan melakukan pengujian ketahanan terhadap ledakan, ketahanan terhadap bahaya kebakaran, ketahanan terhadap kontaminasi air laut dan lain-lain.[14]

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mengenai penerapan *sandwich panel* pada konstruksi *tank deck* sehingga dapat diketahui perbandingan berat dan tegangan maksimum dapat memenuhi standar atau *safety factor* dari *class* yang di gunakan *Lloyd's Register* sebesar 175 N/mm².

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Kapal *Landing Ship Tank* (LST) adalah kapal angkatan laut yang pertama kali dibuat selama perang dunia II untuk mendukung operasi amfibi dengan membawa kendaraan, kargo, dan pasukan menurunkannya langsung ke pantai. Angkatan laut Amerika Serikat tidak melihat kebutuhan untuk berinvestasi dalam armada kapal amfibi karena kapal jenis ini dianggap sebagai kapal tempur tambahan dan bukan untuk penyerangan[5]. Dari kebutuhan inilah konsep pembuatan kapal *landing ship tank* disusun. Karena industri pembuatan kapal sudah terbebani Inggris tidak mampu untuk menghasilkan jumlah LST yang diperlukan[6].



Gambar 1. Kapal LST

<i>Length (OA)</i>	: 120	meter
<i>Length (P.P)</i>	: 111,89	meter
<i>Breadth</i>	: 18	meter
<i>Depth</i>	: 7,80	meter
<i>Draught</i>	: 3	meter
<i>Speed</i>	: 16	knot

2.2. Geladak Kendaraan (*Tank Deck*)

Geladak adalah kumpulan komponen-komponen konstruksi mendarat yang terdiri dari balok geladak (sistem konstruksi melintang), pembujur geladak (sistem konstruksi memanjang), penumpu geladak dan pelat geladak yang dibatasi oleh lambung di sekelilingnya[7]. Geladak tank merupakan suatu dek atau geladak pada kapal yang berguna untuk menampung muatan berupa tank, yang terdapat pada kapal angkut tank.

2.3. Tegangan

Tegangan dapat menunjukkan kekuatan dari gaya yang menyebabkan suatu perubahan bentuk, tegangan bisa didefinisikan dari perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda. Penguraian intensitas gaya ini pada luas kecil tak terhingga. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada sebuah titik.[8]

Secara matematis dapat dituliskan:

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

dimana :

σ = Tegangan (MPa)

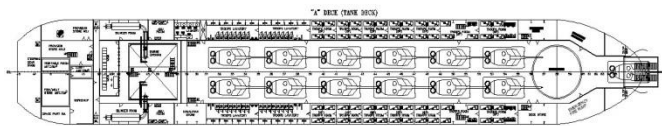
F = Gaya (N)

A = Luas penampang (mm²)

2.4. Pembebanan

Beban statis dihasilkan dari kendaraan yang di distribusikan secara merata sepanjang konstruksi *tank deck*. Pembebanan dengan kondisi muatan yang heterogen dengan berat yang berbeda yakni;

Tank Leopard 10 unit 62,5 ton
 APS-3 Anoa 2 unit 12,5 ton



Gambar 2. Penampang Atas Pembebanan Pada Tank Deck

2.5. Hubungan Tegangan-Regangan

Hubungan tegangan dan regangan dapat dikatakan linier atau setiap peningkatan tegangan terjadi peningkatan regangan yang sebanding sampai dengan batas proporsional. Hubungan proporsional tegangan dan regangan kemudian dikenal dengan hukum *Hooke* dan dinyatakan dengan persamaan :

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (2)$$

Tetapan E ini disebut dengan modulus elastisitas atau *modulus Young*. Nilai modulus elastis merupakan suatu sifat yang pasti dari suatu bahan. Untuk kebanyakan baja, E berharga antara 200 dan 210 x 10⁹ N/m² atau E = 210 x 10⁶ kN/m² [8]

2.6. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*finite element method*) biasa dipandang sebagai perluasan dari metode perpindahan ke masalah kontinum berdimensi dua dan tiga seperti plat, struktur selaput (*shell*) dan benda pejal. Dalam metode ini, kontinum sebenarnya diganti dengan sebuah struktur ideal ekuivalen yang terdiri dari elemen-elemen unik (*discrete element*). Elemen ini disebut elemen berhingga dan dihubungkan bersama-sama di sejumlah titik simpul [9].

Ketepatan metode elemen hingga dipengaruhi oleh parameter-parameter berikut yang disusun berdasarkan keutamaannya [11] :

1. Pola perpindahan yang ditetapkan untuk elemen.
2. Jumlah elemen.
3. Teknik penyajian beban.
4. Kondisi tepi masalah tertentu.
5. Program komputer

2.7. Ketentuan Tebal Sandwich Panel

Penentuan ketebalan dari penggunaan *sandwich panel*, yang terdiri dari 3 bagian ketebalan, yaitu t₁ untuk ketebalan lapisan atas (*top plate*), t₂ untuk ketebalan lapisan bawah (*bottom plate*) dan t_c untuk ketebalan lapisan *core material*. Untuk ketebalan lapisan inti (*core thickness*) tidak boleh dibawah t_c = 15 mm.

$$t_1 = 0,3 (t_{Rule} - t_{aR}) + t_{a1} \quad (3)$$

$$t_2 = 0,3 (t_{Rule} - t_{aR}) + t_{a2} \quad (4)$$

Dimana :

t_{aR} : ketebalan aturan (mm)

t_{a1} : ketebalan untuk lapisan atas pada *faceplate* (mm)

t_{a2} : ketebalan untuk lapisan bawah pada *faceplate* (mm)

Ketebalan core material yang digunakan ditentukan berdasarkan metode *trial and error*. Persamaan dibawah ini memastikan bahwa *sandwich panel* setara kekuatannya dengan konstruksi baja konvensional [11].

$$R = 0,01 A_R 0,1 \left[\frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{b t_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] k P_e \cdot R_i \leq 1 \quad (5)$$

dimana :

A_R =

P_{eq,R} = 0,0017 (Z_{rule}/12) , (MPa)

l = panjang panel (m)

Z_{rule} = ekuivalen modulus penampang (cm³)

t_c = pilihan ketebalan lapisan inti, (mm)

a = panjang panel pada tepi terpanjang (mm)

b = lebar panel pada tepi terpendek, (mm)

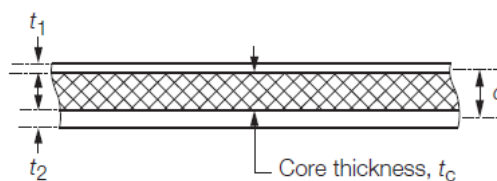
d = t_c + (t₁ + t₂) / 2 (mm)

t₁ = ketebalan panel lapisan atas (mm)

t₂ = ketebalan panel lapisan bawah (mm)

k = faktor kekuatan baja.

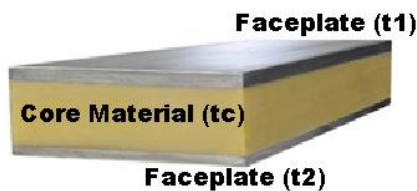
R = nilai indeks ketebalan core material R ≤ 1.



Gambar 3. Tebal Sandwich Panel

2.8. Sandwich Plate System

Sandwich Plate System (SPS) merupakan salah satu bagian dari jenis hybrid metal. Dimana struktur *sandwich* jenis ini merupakan campuran antara bahan metal dan non metal. Pelat pada struktur ini, biasanya terbuat dari baja, digabungkan sebagai batas luar dari material di kedua sisi dan kemudian disatukan oleh material *polyurethane* [4].



Gambar 4. Sandwich Plate System (SPS)

Pengujian *mechanical properties* dari material elastomer terdiri dari berat jenis material, kekuatan tarik, kekuatan kompresi, modulus geser dan poisson rasio yang telah sesuai dengan standarisasi dari ASTM dan DIN DIN (*Deutsches Institut fur Normung*)[13]

2.9. Material Synthetic resin

Synthetic resin merupakan campuran bahan non metalik buatan biasanya dari senyawa organik, yang dapat dibentuk menjadi berbagai macam bentuk kebutuhan komersial. Resin diklarifikasikan sebagai *termoplastic*, resin *termoplastic* dapat dilebur biasanya larut dalam pelarut organik. Seperti misalnya beberapa produk rumah tangga, pelapis anti bocor dan lain-lain. Keberadaannya yang mudah untuk didapatkan dan familiernya resin dalam berbagai industri, menjadikan resin sebagai pilihan material yang banyak digunakan [15]. Kombinasi dari campuran 50% resin, 50% *talc* 0,3 % katalis.

Nilai dari material properties *core material Syntheticresin* dari uji eksperimen yang telah digunakan adalah sebagai berikut [2]:

Tabel 1. Hasil Pengujian Core Material Synthetic Resin

<i>Mechanical properties synthetic resin</i>	
<i>Force yield</i>	2.140,63 Newton
<i>Yield strength</i>	8,84556 MPa
<i>Force max</i>	5.989,38 Newton
<i>Tensile strength</i>	24,7495 MPa
<i>Tensile modulus</i>	546,95 MPa
<i>Elastisity modulus</i>	2792,06 MPa
<i>Shear modulus</i>	1396,03 MPa
<i>Density</i>	1.728 Kg/m ³

2.10. Aplikasi Sandwich pada Konstrksi kapal

Penggunaan material *sandwich* di dalam konstruksi kapal sudah banyak dilakukan untuk konstruksi-konstruksi pelat datar, seperti geladak, lambung, *double bottom*, dan lain-lain. Penelitian pada simulasi FE (*Finite Element*) pada penggunaan SPS pada konstruksi *inner bottom* kapal *bulk carier* (BC) 11.000 DWT, dengan membandingkan pola distribusi tegangan dan

deformasi pada konstruksi *inner bottom* yang menggunakan material baja AH36 dengan ketebalan 18 mm dan digantikan dengan material SPS, [16].

Penggunaan SPS (*Sandwich Plate System*) dapat mengurangi berat dibanding penggunaan material baja sekitar diantara sampai 70 persen[17].

2.11. Faktor Keamanan (Safety Factor)

Faktor keamanan adalah sebagai sebuah rasio kapasitas struktur terhadap beban yang diberikan. Faktor keamanan digunakan untuk mengukur ketahanan pada sebuah desain sebagai berikut:

$$\text{Factor of safety} = \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Working Stress}} \quad (6)$$

Perbandingan ini disebut faktor keamanan (*factor of safety*) dan harus selalu lebih besar dari satu. Meskipun tidak biasa dipakai, mungkin sebutan yang paling baik untuk perbandingan. Faktor ini identik dengan perbandingan antara tegangan *ultimate* dengan tegangan ijin batang tarik. Untuk batang-batang dengan tegangan yang lebih rumit, definisi yang lama dapat kita sertakan, meskipun yang kita gunakan sebenarnya adalah perbandingan tegangan. Dari pembahasan yang berikut akan jelas terlihat bahwa keduanya tidaklah sinonim karena tegangan tidak selalu berbanding linier dengan beban.[8]

2.12. Pendefinisian Material

Penentuan material *propertie* jenis material yang digunakan dalam model adalah baja *grade A*
Modulus Elastisity = $2,1 \times 10^{11}$ N/m²
Shear Modulus = 8×10^{10} N/m²
Poisson Ratio = 0,3
Density = 7850 kg/m³
 Sedangkan untuk *core* yang dipakai yaitu *Core Material Synthetic resin* yang mempunyai nilai
Modulus Elastisity = $2,792 \times 10^9$ N/m²
Shear Modulus = $1,396 \times 10^9$ N/m²
Poisson Ratio = 0,001
Density = 1728 kg/m³

Dari Perhitungan ketebalan material *sandwich* didapatkan penggunaan *sandwich* untuk menggantikan baja pada *tank deck* yaitu (4-20-3). Untuk $t_1 = 4$ mm, $t_c = 20$ mm, $t_2 = 3$ mm

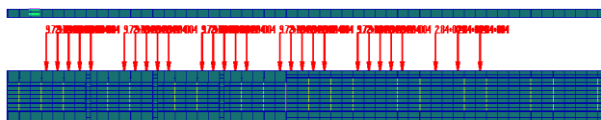
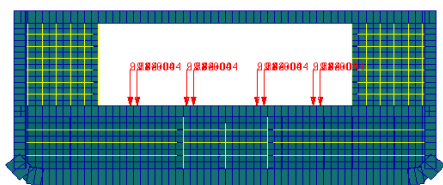
2.13. Pemodelan

Kapal *Landing Ship Tank* dimodelkan berdasarkan metode elemen hingga dan dibuat pemodelan dalam program bantu *software berbasis finite element*

$$\begin{aligned}
 F &= 610540 \text{ N} \\
 A &= 6,28015 \text{ m}^2 \\
 P &= F / A \\
 &= 610540 / 6,28015 \\
 &= 97217,5 \text{ Pa} \\
 &= 0.0972175 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Beban 1 APS-3 Anoa = 12500 kg

$$\begin{aligned}
 F &= 122500 \text{ N} \\
 A &= 4,32 \text{ m}^2 \\
 P &= F / A \\
 &= 122500 / 4,32 \\
 &= 28356,5 \text{ Pa} \\
 &= 0.028356481 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

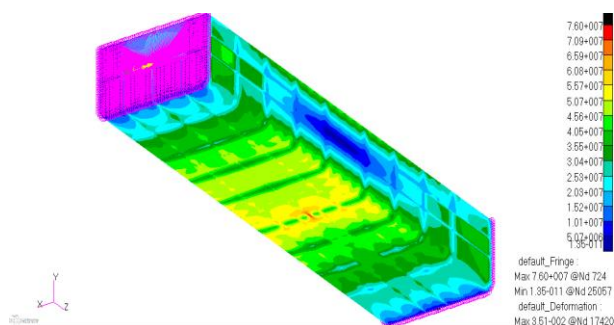


Gambar 7. Skema Tekanan Muatan

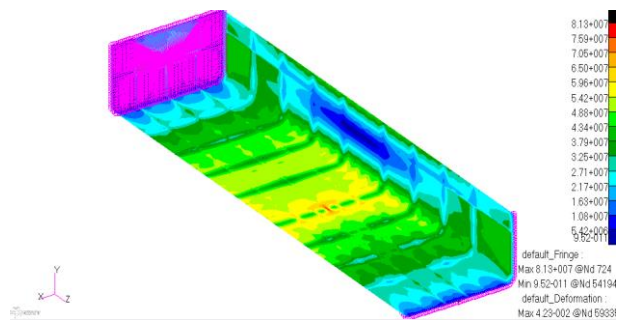
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Perhitungan Tegangan Maksimal

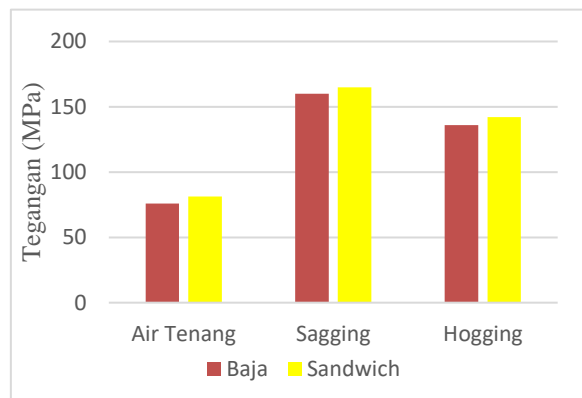
1. Kondisi Pada Saat Air Tenang



Gambar 8. Konstruksi Kondisi Air Tenang Menggunakan Baja



Gambar 9. Konstruksi Kondisi Air Tenang Menggunakan SPS

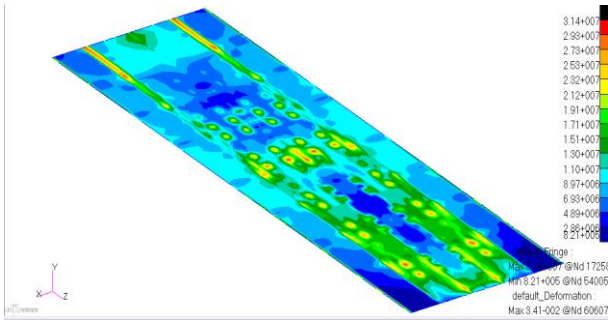


Gambar 10. Diagram Tegangan Pada Setiap Kondisi Pada *Parallel Middle Body*

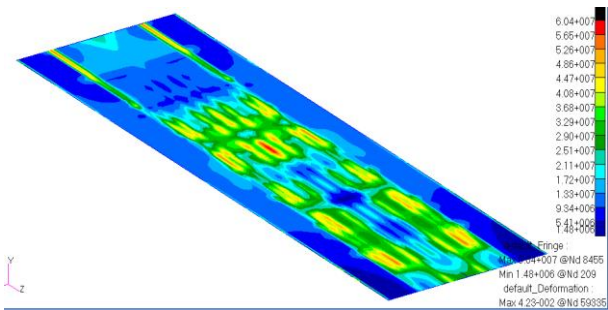
Pada kondisi air tenang tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar 76 MPa dan deformasi 3,51 cm untuk konstruksi baja, sedangkan 81,3 MPa dan deformasi 4,23 cm untuk konstruksi SPS. Pada kondisi *sagging* tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar 160 MPa dan deformasi 5,83 cm untuk konstruksi baja, sedangkan 165 MPa dan deformasi 7,24 cm untuk konstruksi SPS. Dan pada kondisi *hogging* tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar 136 MPa dan deformasi 6,09 cm untuk konstruksi baja, sedangkan 142 MPa dan deformasi 6,72 cm untuk konstruksi SPS. Tegangan terjadi pada bagian *bottom shell* yang ditumpu oleh sekat FWT dan *center girder*. Pada konstruksi menggunakan *sandwich Plate system plate tank deck* diganti dengan material SPS konfigurasi dengan tebal *faceplate* atas 4 mm *core material* 20 mm dan *faceplate* bawah 3 mm dan terjadi pengurangan konstruksi di bagian *deck long*.

3.2. Hasil Perhitungan Tegangan Maksimal Struktur Tank Deck

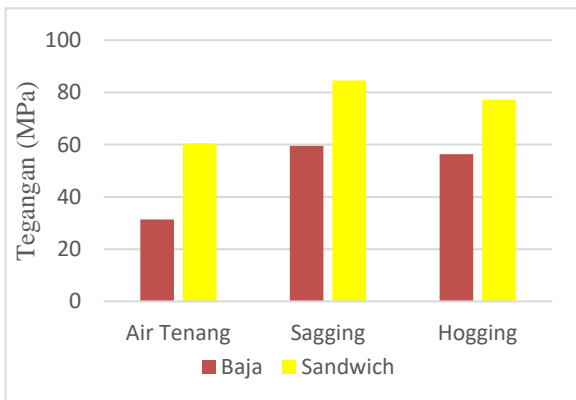
1. Kondisi Pada Saat Air Tenang



Gambar 11. Konstruksi Tank Deck Kondisi Air Tenang Menggunakan Baja



Gambar 12. Konstruksi Tank Deck Air Tenang Menggunakan SPS



Gambar 13. Diagram Tegangan Pada Setiap Kondisi Pada Tank Deck

Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar 31,4 MPa dan deformasi 3,41 cm untuk konstruksi tank deck baja, sedangkan 60,4 MPa dan deformasi 4,23 cm untuk konstruksi tank deck SPS. Pada kondisi sagging tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar 59,5 MPa dan deformasi 5,83 cm untuk konstruksi baja, sedangkan 84,5 MPa dan deformasi 7,04 cm untuk

konstruksi SPS. Dan pada kondisi hogging tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar 56,4 MPa dan deformasi 5,92 cm untuk konstruksi baja, sedangkan 77,2 MPa dan deformasi 6,72 cm untuk konstruksi SPS. Pada konstruksi menggunakan sandwich Plate system plate tank deck diganti dengan material SPS konfigurasi dengan tebal faceplate atas 4 mm core material 20 mm dan faceplate bawah 3 mm dan terjadi pengurangan konstruksi di bagian deck long.

3.3 Rangkuman Hasil Analisis Tegangan

1. Rangkuman Hasil Analisis Pada Parallel Middle Body

a) Menggunakan Plate Baja

Tabel 4. Perhitungan Hasil Analisis Pada Parallel Middle Body Plate Baja

Kondisi	Tegangan (MPa)	Deformasi (cm)
Konstruksi Baja		
Air Tenang	76,0	3,51
Sagging	160,0	5,83
Hogging	136,0	6,09

b) Menggunakan SPS

Tabel 5. Perhitungan Hasil Analisis Pada Parallel Middle Body SPS

Kondisi	Tegangan (MPa)	Deformasi (cm)
Konstruksi SPS		
Air Tenang	81,3	4,23
Sagging	165,0	7,24
Hogging	142,0	6,72

2. Rangkuman Hasil Analisis Pada Konstruksi Tank Deck

a) Menggunakan Plate Baja

Tabel 6. Perhitungan Hasil Analisis Pada Tank Deck Plate Baja

Kondisi	Tegangan (MPa)	Deformasi (cm)
Konstruksi Tank Deck Baja		
Air Tenang	31,4	3,41
Sagging	59,5	5,83
Hogging	56,4	5,92

b) Menggunakan SPS

Tabel 7. Perhitungan Hasil Analisis Pada Tank Deck Plate SPS

Kondisi	Tegangan (MPa)	Deformasi (cm)
Konstruksi Tank Deck SPS		
Air Tenang	60,4	4,23
Sagging	84,5	7,24
Hogging	77,2	6,72

3.4 Perhitungan Berat Konstruksi

Perhitungan berat konstruksi dilakukan untuk mengetahui perbedaan berat antara konstruksi *tank deck* menggunakan baja dan setelah menggunakan *sandwich*. Saat konstruksi *tank deck* menggunakan *sandwich panel* ada penyerdehanaan konstruksi yaitu pengurangan profil sekunder yang ada pada konstruksi *tank deck*. Dengan berat konstruksi menggunakan material baja sebesar 1424,494 ton sedangkan menggunakan SPS 1357,762 ton. Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa berat konstruksi berkurang sebesar 66,732 ton saat menggunakan SPS. Berat konstruksi menggunakan *sandwich panel* lebih ringan dibandingkan dengan menggunakan baja dengan presentasi pengurangan berat konstruksi akibat penggunaan SPS untuk *parallel middle body* sebesar 4,5 %.

3.5 Safety factor

Faktor keamanan (*Safety factor*) adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Sebelum menghitung *safety factor*, dicari terlebih dahulu nilai tegangan ijin yang didapatkan sesuai dengan ketentuan LR Part 3, *Chapter 4, Section 5.6.1*

1. Safety Factor Dan Tegangan Ijin Pada *Parallel Middle Body*

a) Menggunakan *Plate Baja*

Tabel 8. *Safety Factor* Pada *Parallel Middle Body*

Kondisi	Tegangan Maks	Tegangan Ijin	Keterangan
	(MPa)	(MPa)	
Konstruksi Baja			
Air Tenang	76,0	175	Memenuhi
<i>Sagging</i>	160,0	175	Memenuhi
<i>Hogging</i>	136,0	175	Memenuhi

b) Menggunakan SPS

Tabel 9. *Safety Factor* Pada *Parallel Middle Body*

Kondisi	Tegangan Maks	Tegangan Ijin	Keterangan
	(MPa)	(MPa)	
Konstruksi SPS			
Air Tenang	81,3	175	Memenuhi
<i>Sagging</i>	165,0	175	Memenuhi
<i>Hogging</i>	142,0	175	Memenuhi

2. Safety Factor Dan Tegangan Ijin Pada Konstruksi *Tank Deck*

a) Menggunakan *Plate Baja*

Tabel 10. *Safety Factor* Pada Konstruksi *Tank Deck*

Kondisi	Tegangan Maks	Tegangan Ijin	Keterangan
	(MPa)	(MPa)	
Konstruksi <i>Tank Deck</i> Baja			
Air Tenang	31,4	175	Memenuhi
<i>Sagging</i>	59,5	175	Memenuhi
<i>Hogging</i>	56,4	175	Memenuhi

b) Menggunakan SPS

Tabel 11. *Safety Factor* Pada Konstruksi *Tank Deck*

Kondisi	Tegangan Maks	Tegangan Ijin	Keterangan
	(MPa)	(MPa)	
Konstruksi <i>Tank Deck</i> SPS			
Air Tenang	60,4	175	Memenuhi
<i>Sagging</i>	84,5	175	Memenuhi
<i>Hogging</i>	77,2	175	Memenuhi

Hasil perhitungan *safety factor* maka dapat disimpulkan bahwa semua variasi model pada keadaan air tenang, *sagging* dan *hogging* dalam menggunakan *plate* baja maupun SPS memenuhi batas aman dan syarat faktor keselamatan menurut standar *class* yaitu *Lloyd's Register*.

3.6 Validasi

Validasi dari hasil perhitungan merupakan suatu hal yang penting karena hal ini akan menunjukkan keakuratan perhitungan dari suatu pemodelan. Cara yang ditempuh untuk melakukan validasi adalah dengan melakukan perbandingan hasil perhitungan antara perhitungan *software* dengan perhitungan manual (sesuai dengan rumus) dihitung dari frame 30 sekat kamar mesin saMPai frame 59 sepanjang 69,6 meter. Perhitungan manual yang akan dilakukan sebagai berikut:

a. Perhitungan Manual

$$\text{Defleksi} = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (7)$$

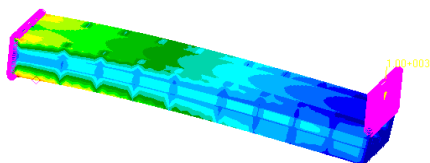
F = Force (1000 N)
 L = Panjang Model (69,6 m)
 E = Modulus Elastisitas ($2,1 \times 10^{11}$ N/m²)
 I = Inersia (13,54007701 m⁴)

Maka:

$$= \frac{1000 \times 69,6^3}{3 \times 2,1 \times 10^{11} \times 13,54007701}$$

$$= 3,95 \times 10^{-5} \text{ m}$$

b. Perhitungan Menggunakan Software



Gambar 14. Validasi Menggunakan Software

Tabel 12. Hasil Validasi

Hasil Analisa	Hasil Perhitungan	Koreksi
$3,77 \times 10^{-5} \text{ m}$	$3,95 \times 10^{-5} \text{ m}$	4,61 %

4. KESIMPULAN

Dari perhitungan dan analisa struktur konstruksi *tank deck* kapal LST dengan menggunakan program berbasis *finite element* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Konfigurasi ketebalan SPS adalah 4-20-3 dari hasil perhitungan sesuai *rules* LR 2015, saat menggunakan *plate* baja tegangan pada *parallel middle body* saat air tenang 76 N/mm², saat *sagging* 160 N/mm², saat *hogging* 136 N/mm², Saat menggunakan SPS tegangan pada *parallel middle body* saat air tenang 81,3 N/mm², saat *sagging* 165 N/mm², saat *hogging* 142 N/mm², saat menggunakan *plate* baja tegangan pada *tank deck* saat air tenang 31,4 N/mm², saat *sagging* 59,5 N/mm², saat *hogging* 56,4 N/mm², saat menggunakan *plate* SPS tegangan pada *tank deck* saat air tenang 60,4 N/mm², saat *sagging* 84,5 N/mm², saat *hogging* 77,2 N/mm².

Terjadi pengurangan berat pada konstruksi menggunakan SPS sebesar 66,732 ton dengan nilai presentase 4,5 % sehingga konstruksi menggunakan SPS lebih ringan, pengurangan berat yang terjadi dapat diganti dengan meningkatkan kapasitas

muatan kapal, penggunaan SPS mampu memberikan kesederhanaan bentuk konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. H. Sujiatanti, A. Zubaydi, and A. Budipriyanto, "Finite Element Analysis of Ship Deck Sandwich Panel," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 874, pp. 134–139, 2018.
- [2] E. D. Y. Utomo *et al.*, "PENGUNAAN SANDWICH PANEL (PELAT BAJA DAN SYNTHETIC RESIN)," 2016.
- [3] Kujala, Penttl dan Klanac, Alan. (2005). Steel Sandwich Panels in Marine Applications. *Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike*, Vol. 56: 305-314.
- [4] N. Mom, "Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of Application of Sandwich Plate System," pp. 123–128, 2009.
- [5] Allan R. Millet, "Assault from the Sea," in *Military Innovations in the Interwar Period*, eds. Williamson Murray and Allan R. Millett (New York: Cambridge University Press, 2009), 83.
- [6] Norman Friedman, *U.S. Amphibious Ships and Craft* (Annapolis, MD: Naval Institute Press, 2002), 117.
- [7] Djaya, Indra Kusna. 2008. *Teknik Konstruksi Kapal Baja*, Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- [8] Popov, E.P., 1978. *Mechanics of Material, 2nd Edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc
- [9] Ghali, A. and Neville, A. 1977, "Analisa Struktur Gabungan Metode Klasik dan Matriks". Jakarta: Erlangga.
- [10] Handayanu, 2012. "Pengantar Kuliah Metode Elemen Hingga", Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [11] Szilard Rudolph. 1989. "Teori dan Analisis Pelat Metode Klasik dan Numerik", Jakarta: Erlangga
- [12] Llyod's Register. (2015), *Provisional rules for the application of sandwich panel construction to ship structure*, LR, UK
- [13] Brooking, M.A. and Kennedy, 2004.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, London, UK, pp. 1-2.
- [14] Intelligent Engineering, Ltd (2015), *SPS The Sandwich Plate System Heavy Engineering Composite from Intelligent Engineering & Safe Concordia SPS Overlay*, <http://www.ie-sps.com>
- [15] Dinda. (2009), *Resin, Informasi tentang dunia kedokteran dan farmasi medicafarma.blogspot.co.id*
- [16] Utomo E, Baidowi A., 2015. "Preliminary Study Of Sandwich Panel Application In Ship Construction : Combination Of Plywood And Polyurethane Foam Material", *Proceeding SENTA* page 33-38, Faculty of Marine Technology, ITS, Surabaya, Indonesia
- [17] Ramakrishnan. K, Kumar, P.(2016), *Application of Sandwich Plate System for Ship Structures* , Aries Internasional Research Institute, UAE