



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Pengaruh Penggunaan *Sandwich Plate System* (SPS) pada Konstruksi Alas Dalam Kapal Kontainer

Rilo Wahyu Pambudi¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾

¹⁾Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*)}e-mail : rilowahyup@yahoo.co.id, ahmadfzakki@yahoo.com, pujomulyatno2@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi material semakin berkembang seiring dengan perkembangan industri teknologi yang tidak berhenti untuk selalu melakukan inovasi dalam bidang riset. Salah satunya adalah penggunaan material *Sandwich Plate System* yang merupakan material inovatif dalam bentuk komposit lapisan.. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lebih lanjut mengenai penggunaan sandwich pada konstruksi alas dalam sehingga dapat diketahui perbandingan berat dan tegangan maksimum dapat memenuhi standar dari rules ada. Permodelan dan analisa menggunakan software berbasis finite element analysis untuk mengetahui besaran respons struktur berupa nilai tegangan. Dari hasil penelitian didapatkan konfigurasi ketebalan sandwich face plate atas 6 mm dan bawah 7 mm sedangkan tebal core material 15 mm (6-15-7). Hasil analisa pada penelitian ini memenuhi batas maksimum tegangan rules LR (tegangan max < 175 Mpa), Tegangan maksimum terbesar terjadi pada konstruksi alas dalam saat kondisi sagging pada loading condition I sebesar 98,4 MPa pada konstruksi baja dan 99,6 MPa pada konstruksi sandwich serta deformasi terbesar terjadi pada saat kondisi hogging pada loading condition I sebesar 4,00 cm untuk konstruksi menggunakan baja dan 4,15 cm untuk konstruksi menggunakan sandwich. Serta konstruksi akibat penggunaan sandwich plate system pada konstruksi alas dalam dapat menurunkan berat konstruksi sebesar 2,8% untuk keseluruhan konstruksi dan 5,7% untuk konstruksi alas dalam.

Kata Kunci : *Sandwich Plate System*, Alas Dalam, Berat Konstruksi, Kontainer, Tegangan

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material semakin terus berkembang seiring dengan perkembangan industri teknologi yang tidak berhenti untuk selalu melakukan inovasi-inovasi dalam bidang riset. Adanya material inovatif baru yang dikembangkan dan digunakan mejadi salah satu pilihan material unggul sebagai pengganti material baja konvensional yang digunakan sebagai konstruksi.

Demikian juga pada pengaplikasian material inovatif baru ini pada konstruksi kapal. Beberapa material inovatif yang memiliki karakteristik memberikan kelebihan. Salah satunya adalah hadirnya penggunaan material *sandwich* yang merupakan material inovatif dalam bentuk komposit lapisan. *Sandwich plate system* telah banyak digunakan di berbagai bidang konstruksi bangunan dari jembatan, stadion, *offshore*, gedung hingga konstruksi pada kapal.

Kekuatan konstruksi kapal merupakan faktor utama dalam perancangan konstruksi kapal, terutama pada bagian alas dalam (*inner bottom*) kapal kontainer. Perhitungan kekuatan pada konstruksi alas dalam (*inner bottom*) sangat diperhitungkan karena beban yang diterima oleh konstruksi alas dalam lebih besar dibandingkan konstruksi lainnya pada kapal kontainer.

Analisa aplikasi *sandwich panel* pada struktur kapal menunjukkan perubahan bentuk konstruksi dengan berkurangnya penggunaan penegar, sehingga menghasilkan perubahan berat konstruksi sebesar 13,08%. Analisa tersebut hanya dilakukan pada beberapa *block* di bagian *parallel middle body* kapal, sehingga kedepannya perlu dikembangkan pada bentuk *full body* kapal[1]. Uji eksperimen dan simulasi numerik pada performa, keselamatan dan keunggulan produksi pada SPS yang diterapkan pada struktur *double hull* kapal tanker dihasilkan. Penggunaan *sandwich panel*

memiliki beberapa keuntungan yaitu berat pada konstruksi menggunakan *sandwich* panel lebih ringan dari pada penggunaan konstruksi konvensional[2].

Besar tegangan maksimal dan nilai deformasi untuk material baja konvensional dengan material *sandwich*, didapat nilai tersebut tidak berbeda jauh antara kedua material tersebut [3]. Penelitian lain melakukan evaluasi berat konstruksi pada 21 model *Barge* dari berbagai jenis muatan dan bentuk kombinasi konstruksi penegar dengan menggunakan material *sandwich*. Berdasarkan evaluasi tersebut dihasilkan reduksi berat yang dapat diperoleh dengan penerapan struktur SPS tidak lebih besar dari 15%, sebagian besar model *Barge* yang diteliti memberikan nilai reduksi yang bervariasi antara 5% dan 8%[4].

Intelligent Engineering yang merupakan pemilik hak paten SPS (*Sandwich Plate System*) telah melakukan pengujian karakteristik dari material SPS (*Sandwich Plate System*) sebagai bahan pada konstruksi kapal dan juga bangunan sipil, seperti pelat jembatan. IE sendiri telah memberikan nilai-nilai material properti dari keunggulan material SPS (*Sandwich Plate System*) ini[5].

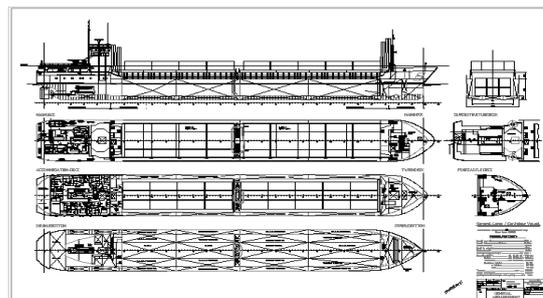
Penggunaan material SPS (*Sandwich Plate System*) yang merupakan bentuk material *sandwich* ini telah diatur dalam aturan yang ditetapkan oleh *Lloyd's Register, Provisional rules for the application of sandwich panel construction to shipstructure*, memberikan aturan dalam penerapan SPS (*Sandwich Plate System*) pada konstruksi kapal[6].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lebih lanjut mengenai penggunaan *sandwich* pada konstruksi Alas Dalam sehingga dapat diketahui perbandingan berat dan tegangan maksimum dapat memenuhi standar atau *safety factor* dari *rules* ada serta mengetahui ketebalan dari *sandwich* panel untuk kapal yang diteliti.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Kapal kontainer adalah kapal yang berfungsi mengangkut barang yang sudah diatur di dalam peti-peti. Muatan peti kemas disamping di dalam palkah juga diletakkan di atas dek dengan pengikatan yang kuat, sehingga peti kemas tersebut tidak bergeser dari tempatnya semula pada saat berlayar[7]. Kapal kontainer adalah contoh yang baik dari pendekatan terpadu untuk masalah transportasi barang. Kontainer ada berbagai jenis dan ukuran. Dimensi nominal adalah panjang 20, 40 dan 45 kaki, lebar 8 kaki dan tinggi 8,5 atau 9,5 kaki[8].



Gambar 1. Rancangan Umum Kapal Kontainer

Length (OA) : 89,60 meter
Length (P.P) : 84,60 meter
Breadth : 11,65 meter
Depth : 5,80 meter
Draught : 4,40 meter
Cb : 0,86

2.2. Tegangan

Tegangan menunjukkan kekuatan dari gaya yang menyebabkan suatu perubahan bentuk, tegangan bisa didefinisikan dari perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda [9].

Secara matematis dapat dituliskan:

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

dimana :

σ = Tegangan (MPa)

F = Gaya (N)

A = Luas penampang (mm²)

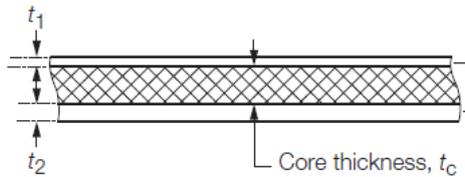
2.3. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk menyelesaikan masalah teknik dan fisika matematika. Masalah khas bidang minat dalam bidang teknik dan matematika fisika yang dapat dipecahkan dengan menggunakan metode elemen hingga meliputi struktur analisis, perpindahan panas, aliran fluida, perpindahan massa, dan elektromagnetik. Untuk permasalahan Kompleks dari geometri pembebanan dan sifat materia, umumnya susah untuk menyelesaikan secara matematis. Penyelesaian matematis adalah menggunakan persamaan matematis yang menghasilkan persamaan untuk mendapatkan penyelesaian dari nilai yang tidak diketahui disetiap lokasi bagian objek[10].

2.4. Sandwich Plate System

SPS adalah bahan komposit struktural yang terdiri dari dua pelat logam yang diikat dengan inti elastomer. Inti elastomer dikembangkan bersama dengan BASF, yang memasok semua bahan inti. Disetujui oleh otoritas pengatur utama, SPS digunakan dalam berbagai aplikasi sipil, maritim, dan khusus termasuk lantai struktural, teras

stadion, dek jembatan dan perbaikan struktur maritim dan lepas pantai.



Gambar 2. *Sandwich Plate System (SPS) Material*

Untuk mengetahui kekuatan daripada material

SPS juga cocok untuk kapal tanker lambung ganda, SPS digunakan untuk membangun lambung bagian dalam dan lambung bagian luar, bagian dalam berisi muatan kapal, inti elastomer dapat mengisolasi kulit lambung dari keretakan jika terjadi *impact*[11]. Material SPS menjadi alternatif yang menarik, karena ringan, mudah dalam fabrikasi, SPS dapat mengurangi pengelasan. SPS baik dalam merespon getaran dan memiliki karakteristik sifat peredam yang baik[12].

2.5. Material Synthetic Resin.

Synthetic resin adalah campuran dari bahan non metalik buatan biasanya dari senyawa organik, yang dapat dibentuk menjadi berbagai macam bentuk kebutuhan komersial. Banyak produk benda yang dihasilkan dari penggunaan resin dengan menggabungkan bahan lainnya antara lain adalah kapal. Keberadaanya yang mudah untuk didapatkan dalam berbagai industri, menjadikan resin sebagai pilihan material yang banyak digunakan [13].

Synthetic resin yang digunakan *core material* penelitian ini adalah *Synthetic Resin* dengan komposisi penyusun 50% Resin + 50% Talc + 0,3% Katalis yang dimana telah dilakukan pengujian eksperimen sesuai dengan standarisasi pengujian yang ditetapkan oleh *Llyod's Register* dalam penentuan *core material*. Nilai hasil dari material properties *core material Synthetic Resin* dari uji eksperimen yang telah digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian *Core Material Synthetic Resin*

<i>Mechanical properties synthetic resin at Room temperature</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

2.6. Menentukan Ketebalan *Sandwich Panel*

Material *sandwich* terdiri dari beberapa lapisan, yaitu *faceplate* dan *core*. *Faceplate* atas dan bawah (t_1 dan t_2), dimana *faceplate* ini merupakan material baja. Ketebalan dari lapisan inti juga atau *core material* (t_c) harus ditentukan berdasarkan peraturan dari *Llyod's Register*. Untuk ketebalan lapisan inti (*core thickness*) tidak boleh dibawah $t_c = 15$ mm. Berikut untuk menentukan ketebalan t_1 dan t_2 :

$$t_1 = 0,3 (t_{Rule} - t_{aR}) + t_{a1} \quad (2)$$

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

Dimana :

t_{aR} : ketebalan aturan (mm)

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

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

Panel *sandwich* baja harus dimensinya disesuaikan dengan indeks kekuatan (R) yang bisa dilihat pada persamaan. Persamaan dibawah ini memastikan bahwa panel *sandwich* baja setara kekuatannya dengan konstruksi baja konvensional [6].

$$R = 0,01 A_R 0,1 \left[\frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{bt_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] k P_e . R_i \leq 1 \quad (4)$$

dimana :

$$A_R = \left(\frac{a}{b} \right)^{0,6}$$

$P_{eq,R} = 0,0017 (Z_{rule}/12)$, (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 = $t_c + (t_1 + t_2) / 2$ (mm)

t_1 = ketebalan panel lapisan atas (mm)

t_2 = ketebalan panel lapisan bawah (mm)

k = faktor kekuatan baja.

R = nilai indeks ketebalan *core material* $R \leq 1$.

2.7. Aplikasi *Sandwich* pada Konstruksi Kapal

Penggunaan material *sandwich* di dalam konstruksi kapal sudah banyak dilakukan untuk konstruksi pelat datar,. Penelitian pada simulasi FE (*Finite Element*) pada penggunaan SPS pada kontruksi inner bottom kapal *bulk carier* 11.000 DWT, dengan membandingkan pola distribusi tegangan dan deformasi pada kontruksi *inner bottom* yang menggunakan material baja AH36 dengan ketebalan 18 mm dan digantikan dengan material SPS dihasilkan nilai tegangan maksimum pada baja AH36 sebesar 226 MPa dan SPS sebesar 221 MPa. Dengan hilangnya penegar berat konstruksi berkurang sebesar 13,05% [14].

Penggunaan SPS (*Sandwich Plate System*) dapat mengurangi berat dibanding penggunaan material konvensional sekitar diantara sampai 70 persen [15].

2.8. Alas Dalam (*Inner Bottom*)

Alas Dalam atau *Inner bottom* adalah merupakan salah satu bagian yang berada pada kapal yang dimana ialah bagian atau plat terletak membentuk bagian atas pada *double bottom*. Alas dalam berguna untuk menopang muatan berupa barang seperti muatan kargo, curah, kontainer dan lain-lain, biasanya terdapat pada kapal niaga [16].

2.9. Pendefinisian Material

Tahap ini jenis material yang dipakai adalah baja grade A yang mempunyai nilai.

$$\text{Modulus Elasticity} = 2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$\text{Shear Modulus} = 8 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$\text{Poisson Ratio} = 0,3$$

$$\text{Density} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Sedangkan untuk *core* yang dipakai yaitu *core* material *Synthetic Resin* yang mempunyai nilai

$$\text{Modulus Elasticity} = 2,792 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Shear Modulus} = 1,396 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

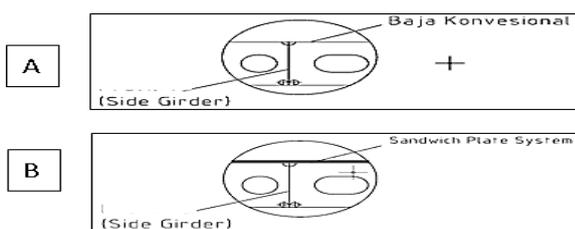
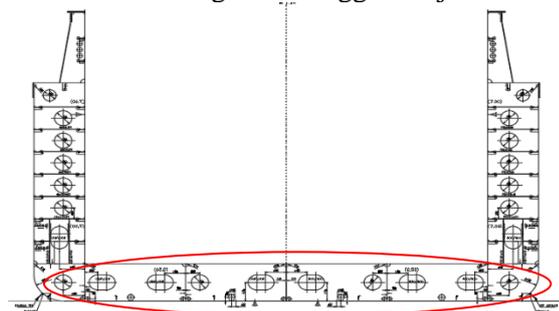
$$\text{Poisson Ratio} = 0,001$$

$$\text{Density} = 1728 \text{ kg/m}^3$$

Dari Perhitungan ketebalan materil *sandwich* didapatkan penggunaan *sandwich* untuk menggantikan baja pada alas dalam yaitu (6-15-7). Untuk $t_1 = 6 \text{ mm}$, $t_c = 15 \text{ mm}$, $t_2 = 7 \text{ mm}$.

2.10. Pemodelan

Langkah pertama dalam pemodelan adalah pembuatan geometri. *Geometry* dimulai dengan peletakan *point-point* bentukan lambung kapal, dan setelah itu dihubungkan sehingga menjadi kurva.



Gambar 4. Detail konstruksi dengan material baja konvensional (A) dan material *sandwich plate system* (B)

Setelah tahap geometri selesai, maka selanjutnya adalah tahap penentuan tebal plat dan pemasangan profil.

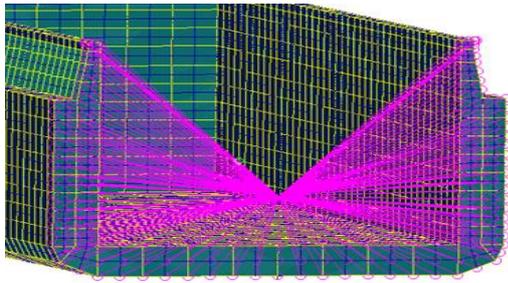
Tabel 2. Konstruksi Alas Dalam Menggunakan Material Baja

Komponen	Ukuran (mm)
Hull	
<i>Plate Hull</i>	9
<i>Web Frame</i>	7
<i>Side Long</i>	200 x 9
<i>Side Long</i>	180 x 10
<i>Side Long</i>	180 x 9
<i>Side Long</i>	160 x 9
Bulkhead	
<i>Bulkhead Plate</i>	15
<i>Stiffner</i>	160 x 9
Bottom	
<i>Inner Bottom</i>	18
<i>Bottom</i>	11
<i>Center Girder</i>	11,5
<i>Side Girder</i>	8,5
<i>Bracket Floor</i>	100 x 7

Tabel 3. Konstruksi Alas Dalam Menggunakan Material *Sandwich*

Komponen	Ukuran (mm)
Hull	
<i>Plate Hull</i>	9
<i>Web Frame</i>	7
<i>Side Long</i>	200 x 9
<i>Side Long</i>	180 x 10
<i>Side Long</i>	180 x 9
<i>Side Long</i>	160 x 9
Bulkhead	
<i>Bulkhead Plate</i>	15
<i>Stiffner</i>	160 x 9
Bottom	
<i>Inner Bottom</i>	$t_1 = 6$ $t_{core} = 15$ $t_2 = 7$
<i>Bottom</i>	11
<i>Center Girder</i>	11,5
<i>Side Girder</i>	8,5

Langkah selanjutnya adalah pengaplikasian rancang beban yang terjadi di geladak, MPC, dan boundary condition, dimana pada penelitian ini *boundary condition* terletak pada ujung-ujung model. Untuk analisa linier statis, langkah selanjutnya adalah menetapkan kondisi batas/*boundary conditions* dari model itu sendiri ketika dilakukan analisa dengan mengasumsikan benda atau model diberi beban baik internal ataupun eksternal yang mana benda dalam keadaan diam .



Gambar 5. Model Setelah Ditambah Momen, MPC dan *Boundary Condition*

2.11. Perhitungan Pembebanan.

Pembebanan pada kapal di kapal ini terdiri dari tekanan air laut dan tekanan dari beban muat itu sendiri yaitu kontainer.

a). Tekanan Air Laut

Merupakan beban eksternal yang diterima akibat adanya tekanan dari air laut. Dimana ada dua kondisi sarat pada kapal, sarat dengan *loading condition I* (muatan penuh) dengan ketinggian 4,4 m dan sarat dengan *loading condition II* (muatan setengah) dengan ketinggian 3,2 m, perhitungan tekanan muatan dapat menggunakan formulasi:

$$P = \rho g h \quad (5)$$

$$\rho = \text{Massa jenis air laut } 1025 \text{ kg/ m}^3$$

$$g = \text{Percepatan Gravitasi } 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h = \text{Kedalaman permukaan (sarat kapal)}$$

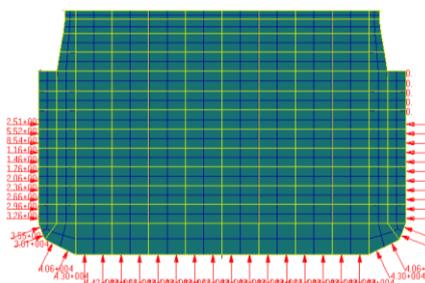
Maka:

Loading condition I

$$P = 44198 \text{ N/m}^2$$

Loading condition II

$$P = 32144 \text{ N/m}^2$$



Gambar 6. Skema Tekanan Hidrostatik

b). Tekanan Muatan

Merupakan beban yang terdapat dalam ruang muat dimana ada dua kondisi muatan, yaitu *loading condition I* yang memuat penuh kontainer dengan dwt berkisar 2530 ton dan *loading condition II* yang memuat setengah kontainer dari full muatan kontainer dengan dwt berkisar 1330 ton, perhitungan tekanan muatan dapat menggunakan formulasi:

$$P = F / A \quad (6)$$

$$F = \text{Gaya (m.g)}$$

$$A = \text{Luas area yang ditumpu}$$

1. Loading Coandition I dengan muatan kontainer berat full

a) Ruang muat I

$$P = F / A \\ = 47980,68 \text{ N/m}^2$$

b) Ruang muat II

$$P = F / A \\ = 47775,05 \text{ N/m}^2$$

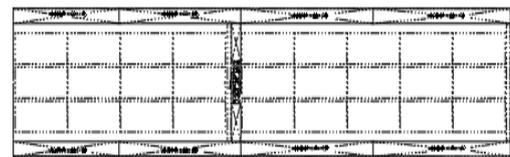
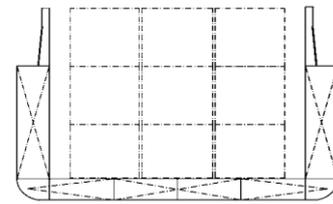
2. Loading Coandition II dengan muatan kontainer berat setengah

a) Ruang muat I

$$P = F / A \\ = 23990,34 \text{ N/m}^2$$

b) ruang muat II

$$P = F / A \\ = 23887,53 \text{ N/m}^2$$



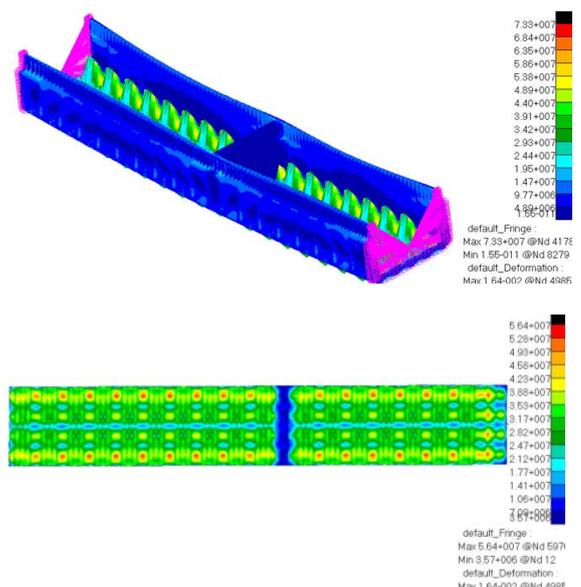
Gambar 7. Pembebanan Kontainer

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Perhitungan Tegangan Maksimal

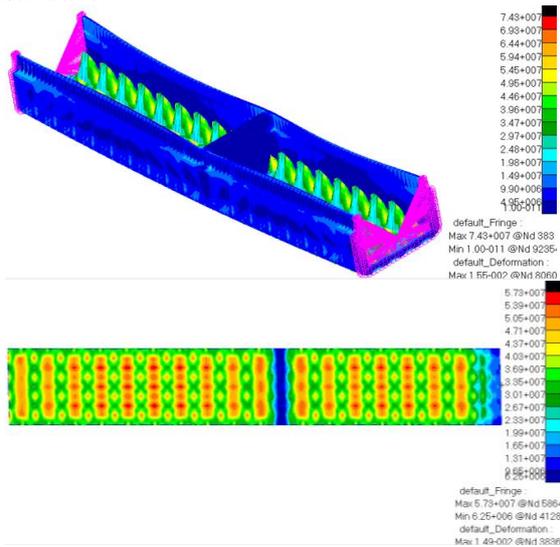
3.1.1. Hasil Analisa Kapal Kontainer pada *Loading Condition I*

a) Konstruksi alas dalam menggunakan baja

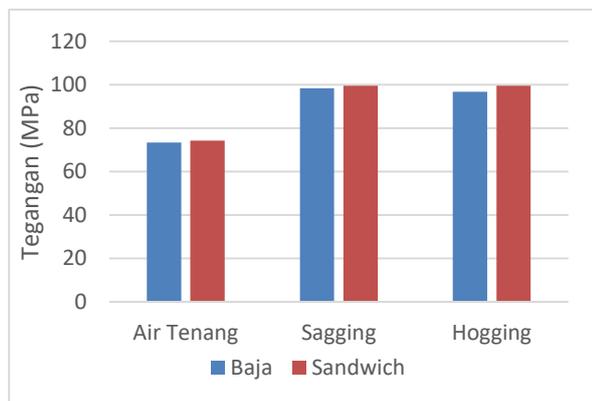


Gambar 8. Kondisi Air Tenang Konstruksi Alas Dalam Menggunakan Baja *Loading Condition I*

b) Konstruksi alas dalam menggunakan sandwich



Gambar 9. Kondisi Air Tenang Konstruksi Alas Dalam Menggunakan Sandwich Loading Condition I



Gambar 10. Diagram Tegangan Maksimal pada Setiap Kondisi Gelombang untuk Loading Condition I

Tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi air tenang *loading condition I* pada konstruksi yang menggunakan baja adalah sebesar 73,3 MPa dan deformasi 1,64 cm, sedangkan tegangan maksimal pada konstruksi yang menggunakan sandwich adalah sebesar 74,3 MPa dan deformasi 1,55 cm. Tegangan maksimal terjadi pada plat alas kapal bagian tengah yang ditumpu oleh *center girder* yang mendapat tekanan tekanan air laut yang besar sehingga memberi tegangan yang besar pada bagian tersebut. Pada konstruksi menggunakan sandwich dengan konfigurasi dengan tebal *faceplate* atas 6 mm, *core* 15 mm dan *faceplate* bawah 7 mm dan terjadi pengurangan konstruksi di bagian *bracket floor*.

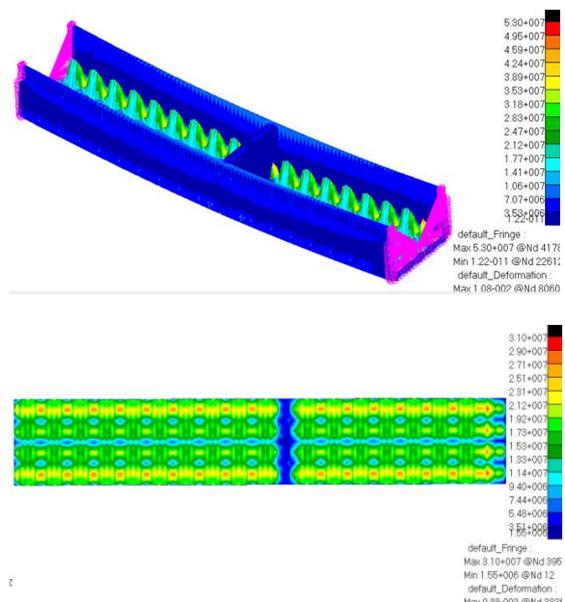
Tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi *sagging* pada konstruksi yang menggunakan baja adalah sebesar 98,4 MPa dan deformasi 2,81 cm, sedangkan tegangan maksimal pada konstruksi

yang menggunakan sandwich adalah sebesar 99,6 MPa dan deformasi 2,62 cm. Tegangan maksimal terjadi pada plat alas kapal bagian alas tepi ujung ruang muat belakang yang ditumpu oleh *side girder* yang mendapat tekanan tekanan air laut yang besar pada saat kondisi *sagging* sehingga memberi tegangan yang besar pada bagian tersebut. Pada konstruksi menggunakan sandwich dengan konfigurasi dengan tebal *faceplate* atas 6 mm, *core* 15 mm dan *faceplate* bawah 7 mm dan terjadi pengurangan konstruksi di bagian *bracket floor*.

Tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi *hogging* pada konstruksi yang menggunakan baja adalah sebesar 96,8 MPa dan deformasi 4,00 cm, sedangkan tegangan maksimal pada konstruksi yang menggunakan sandwich adalah sebesar 99,5 MPa dan deformasi 4,15 cm. Tegangan maksimal terjadi pada plat alas kapal bagian tengah ruang muat yang ditumpu oleh *center girder* yang mendapat tekanan tekanan air laut yang besar pada saat kondisi *hogging* sehingga memberi tegangan yang besar pada bagian tersebut. Pada konstruksi menggunakan sandwich dengan konfigurasi dengan tebal *faceplate* atas 6 mm, *core* 15 mm dan *faceplate* bawah 7 mm dan terjadi pengurangan konstruksi di bagian *bracket floor*.

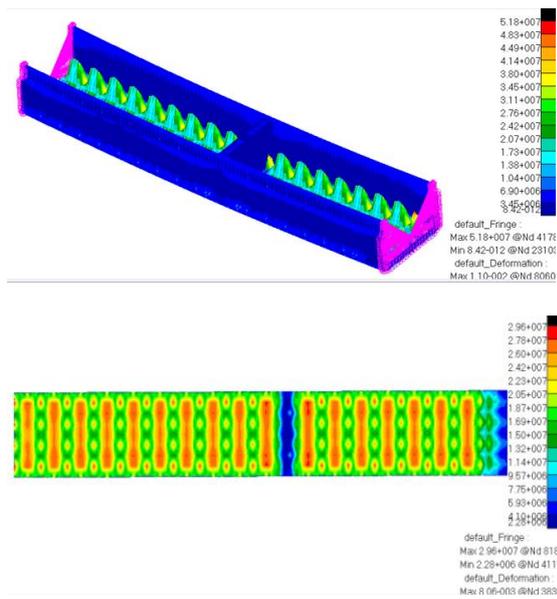
3.1.2. Hasil Analisa Kapal Kontainer pada Loading Condition II

a) Konstruksi alas dalam menggunakan baja

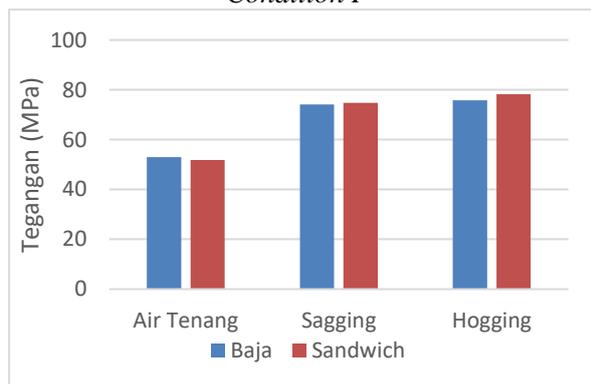


Gambar 11. Kondisi Air Tenang Konstruksi Alas Dalam Menggunakan Baja Loading Condition II

b) Konstruksi alas dalam menggunakan *sandwich*



Gambar 12. Kondisi Air Tenang Konstruksi Alas Dalam Menggunakan *Sandwich Loading Condition I*



Gambar 13. Diagram Tegangan Maksimal pada Setiap Kondisi Gelombang untuk *Loading Condition II*

Tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi air tenang *loading condition II* pada konstruksi yang menggunakan baja adalah sebesar 53,0 MPa dan deformasi 1,08 cm, sedangkan tegangan maksimal pada konstruksi yang menggunakan *sandwich* adalah sebesar 51,8 MPa dan deformasi 1,10 cm. Tegangan maksimal terjadi pada plat alas kapal bagian tengah yang ditumpu oleh *center girder* yang mendapat tekanan tekanan air laut yang besar sehingga memberi tegangan yang besar pada bagian tersebut. Pada konstruksi menggunakan *sandwich* dengan konfigurasi dengan tebal *faceplate* atas 6 mm, *core* 15 mm dan *faceplate* bawah 7 mm dan terjadi pengurangan konstruksi di bagian *bracket floor*.

Tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi *sagging* pada konstruksi yang menggunakan baja

adalah sebesar 74,1 MPa dan deformasi 1,92 cm, sedangkan tegangan maksimal pada konstruksi yang menggunakan *sandwich* adalah sebesar 74,8 MPa dan deformasi 1,75 cm. Tegangan maksimal terjadi pada plat alas kapal bagian alas tepi ujung ruang muat belakang yang ditumpu oleh *side girder* yang mendapat tekanan tekanan air laut yang besar pada saat kondisi *sagging* sehingga memberi tegangan yang besar pada bagian tersebut. Pada konstruksi menggunakan *sandwich* dengan konfigurasi dengan tebal *faceplate* atas 6 mm, *core* 15 mm dan *faceplate* bawah 7 mm dan terjadi pengurangan konstruksi di bagian *bracket floor*.

Tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi *hogging* pada konstruksi yang menggunakan baja adalah sebesar 75,8 MPa dan deformasi 2,87 cm, sedangkan tegangan maksimal pada konstruksi yang menggunakan *sandwich* adalah sebesar 78,3 MPa dan deformasi 3,05 cm. Tegangan maksimal terjadi pada plat alas kapal bagian tengah ruang muat yang ditumpu oleh *center girder* yang mendapat tekanan tekanan air laut yang besar pada saat kondisi *hogging* sehingga memberi tegangan yang besar pada bagian tersebut. Pada konstruksi menggunakan *sandwich* dengan konfigurasi dengan tebal *faceplate* atas 6 mm, *core* 15 mm dan *faceplate* bawah 7 mm dan terjadi pengurangan konstruksi di bagian *bracket floor*.

3.7 Rangkuman Hasil Analisis Tegangan

1. Rangkuman hasil analisis pada keseluruhan struktur

a) *Loading condition I*

Tabel 4. Perhitungan Hasil Analisis pada Keseluruhan Struktur LC I

Kondisi	Tegangan (MPa)	Deformasi (cm)
Konstruksi Alas Dalam Baja		
Air Tenang	73,3	1,64
<i>Sagging</i>	98,4	2,81
<i>Hogging</i>	96,8	4,00
Konstruksi Alas Dalam <i>Sandwich</i>		
Air Tenang	74,3	1,55
<i>Sagging</i>	99,6	2,62
<i>Hogging</i>	99,5	4,15

b) *Loading condition II*

Tabel 5. Perhitungan Hasil Analisis pada Keseluruhan Struktur LC II

Kondisi	Tegangan (MPa)	Deformasi (cm)
Konstruksi Alas Dalam Baja		
Air Tenang	53,0	1,08
<i>Sagging</i>	74,1	1,92
<i>Hogging</i>	75,8	2,87

Konstruksi Alas Dalam Sandwich		
Air Tenang	51,8	1,10
Sagging	74,8	1,75
Hogging	78,3	3,05

2. Rangkuman hasil analisis pada konstruksi Alas Dalam

a) *Loading condition I*

Tabel 6. Perhitungan Hasil Analisis pada Keseluruhan Struktur LC I

Kondisi	Tegangan (MPa)	Deformasi (cm)
Konstruksi Alas Dalam Baja		
Air Tenang	56,5	1,64
Sagging	58,7	2,75
Hogging	68,5	1,89
Konstruksi Alas Dalam Sandwich		
Air Tenang	57,3	1,49
Sagging	62,6	2,62
Hogging	71,6	2,04

b) *Loading condition II*

Tabel 7. Perhitungan Hasil Analisis pada Keseluruhan Struktur LC II

Kondisi	Tegangan (MPa)	Deformasi (cm)
Konstruksi Alas Dalam Baja		
Air Tenang	31,0	0,98
Sagging	32,1	1,92
Hogging	40,8	1,23
Konstruksi Alas Dalam Sandwich		
Air Tenang	29,6	0,81
Sagging	36,4	1,75
Hogging	41,3	1,42

Dari hasil rangkuman tersebut dapat diketahui tegangan maksimal pada setiap kondisi dan *loading condition*. Untuk kondisi sagging dan hogging ketinggian gelombang memakai ketinggian gelombang yang ada di perairan indonesia. untuk konstruksi dari hasil analisa telah memakai konstruksi yang telah dibuat oleh galangan dan telah memenuhi standar oleh klas yang ada.

3.8 Perhitungan Berat Konstruksi

Perhitungan berat konstruksi dilakukan untuk mengetahui perbedaan berat antara konstruksi las alam menggunakan baja dan setelah menggunakan *sandwich*. Sehingga didapat berat konstruksi yang menggunakan berat baja sebesar 412,712 ton dan berat konstruksi yang menggunakan *sandwich* sebesar 401,294 ton.

Dari hasil yang ada maka dapat disimpulkan bahwa berat konstruksi berkurang sebesar 11,418 ton saat menggunakan *sandwich*. Sehingga berat konstruksi menggunakan *sandwich* lebih ringan

dibandingkan dengan menggunakan baja konvensional karena ada pengurangan beberapa profil di bagian konstruksi bagian alas dalam dan ada perubahan konfigurasi ketebalan setelah memakai *sandwich*. Dari data diatas juga kita dapat presentasi pengurangan berat konstruksi akibat penggunaan *sandwich* untuk keseluruhan konstruksi sebesar 2,8 % dan konstruksi alas dalam sebesar 5,7%.

3.9 Safety factor

Faktor keamanan (*Safety factor*) adalah faktor yang menunjukkan standar keamanan dari suatu konstruksi dari beban luar, yaitu beban tekan maupun tarik yang didapatkan sesuai dengan ketentuan *LR Part 3, Chapter 4, Section 5.6.1*

1. *Safety Factor* pada keseluruhan konstruksi

a) *Loading condition I*

Tabel 8. Safety Factor pada Keseluruhan Konstruksi

Kondisi	Tegangan Maks (MPa)	Tegangan Izin (MPa)	Keterangan
	Konstruksi Alas Dalam Baja		
Air Tenang	73,3	175	memenuhi
Sagging	98,4	175	memenuhi
Hogging	96,8	175	memenuhi
Konstruksi Alas Dalam Sandwich			
Air Tenang	74,3	175	memenuhi
Sagging	99,6	175	memenuhi
Hogging	99,5	175	memenuhi

b) *Loading condition II*

Tabel 9. Safety Factor pada Keseluruhan Konstruksi

Kondisi	Tegangan Maks (MPa)	Tegangan Izin (MPa)	Keterangan
	Konstruksi Alas Dalam Baja		
Air Tenang	53,0	175	memenuhi
Sagging	74,1	175	memenuhi
Hogging	75,8	175	memenuhi
Konstruksi Alas Dalam Sandwich			
Air Tenang	51,8	175	memenuhi
Sagging	74,8	175	memenuhi
Hogging	78,3	175	memenuhi

2. Safety Factor pada konstruksi Alas Dalam

a) Loading condition I

Tabel 10. Safety Factor pada Konstruksi Alas Dalam

Kondisi	Tegangan		Keterangan
	Maks (MPa)	Izin (MPa)	
Konstruksi Alas Dalam Baja			
Air Tenang	56,5	175	memenuhi
Sagging	58,7	175	memenuhi
Hogging	68,5	175	memenuhi
Konstruksi Alas Dalam Sandwich			
Air Tenang	57,3	175	memenuhi
Sagging	62,6	175	memenuhi
Hogging	71,6	175	memenuhi

b) Loading condition II

Tabel 11. Safety Factor pada Konstruksi Alas Dalam

Kondisi	Tegangan		Keterangan
	Maks (MPa)	Izin (MPa)	
Konstruksi Alas Dalam Baja			
Air Tenang	31,0	175	memenuhi
Sagging	32,1	175	memenuhi
Hogging	40,8	175	memenuhi
Konstruksi Alas Dalam Sandwich			
Air Tenang	29,6	175	memenuhi
Sagging	36,4	175	memenuhi
Hogging	41,3	175	memenuhi

Hasil perhitungan *safety factor* maka dapat disimpulkan bahwa semua variasi model pada keadaan air tenang, *sagging* dan *hogging* dalam *loading condition I* dan *loading condition II* memenuhi batas aman dan syarat faktor keselamatan menurut standar *Lloyd's Register*.

3.10 Validasi

Validasi dari hasil perhitungan merupakan yang 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). Perhitungan manual yang akan dilakukan dengan sebagai berikut:

a) Perhitungan manual

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

F = Force (1000 N)

L = Panjang Model (57,195 m)

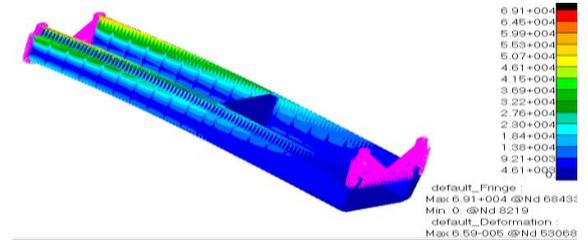
E = Modulus Elastisitas ($2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$)

I = Inersia ($4,706 \text{ m}^4$)

Maka:

$$= \frac{1000 \times 57,195^3}{3 \times 2,1 \times 10^{11} \times 4,706} = 6,31 \times 10^{-5} \text{ m}$$

b) Perhitungan menggunakan *software*



Gambar 14. Validasi Menggunakan *Software FE*

Tabel 12. Hasil Validasi

Hasil Analisa	Hasil Perhitungan	Koreksi
$6,59 \times 10^{-5} \text{ m}$	$6,31 \times 10^{-5} \text{ m}$	4,41 %

4. KESIMPULAN

Percobaan dan analisa yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan pada permodelan kekuatan memanjang kapal, model dibuat pada ruang muat kapal kontainer dapat disimpulkan bahwa konfigurasi ketebalan *sandwich face plate* atas 6 mm dan bawah 7 mm sedangkan tebal *core material* 15 mm (6-15-7) dan pengurangan profil saat menggunakan SPS. Kemudian konstruksi akibat penggunaan *sandwich plate system* pada konstruksi alas dalam dapat menurunkan berat konstruksi sebesar 2,8% untuk keseluruhan konstruksi dan 5,7% untuk konstruksi alas dalam.

Tegangan maksimum terbesar terjadi pada saat kondisi *Sagging* pada *loading condition I* sebesar 98,4 MPa pada konstruksi baja dan 99,6 MPa pada konstruksi *sandwich* yang keduanya menggunakan analisa *linear statis*. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan ijin sebesar 175 MPa dan syarat faktor keselamatan menurut standar *Llyod's Register*. Untuk deformasi terbesar terjadi saat kondisi *Hogging* pada *loading condition I* sebesar 4,00 cm pada konstruksi baja dan 4,15 cm pada konstruksi *sandwich*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Utomo E., Zubaydi A . 2016, Penggunaan *Sandwich Panel* (Pelat Baja dan *Synthetic Resin*) pada Konstruksi Kapal. Faculty of Marine Technology, ITS, Surabaya, Indonesia.

- [2] 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.
- [3] Baidowi A., Utomo.E. 2015,"Penggunaan Sandwich Plate System (SPS) pada Konstruksi Inner Bottom",e-journal.undip.ac.id, Vol.12, No.2.
- [4] Momcilovic. N., Motok.M. (2009), *Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of application of Sandwich Plate System*, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia.
- [5] *Intelligent Engineering, Ltd* (2015), *SPS The Sandwich Plate System Heavy Engineering Composite from Intelligent Engineering & Safe Concordia SPS Overlay*,<http://www.ie-sps.com/>.
- [6] *Llyod's Register*. 2015, *Provisional Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*, LR,UK.
- [7] Wibawa Budi A., Santosa & Pujo I., Mulyatno. 2012, *Pengantar Ilmu Perkapalan*, Teknik Perkapalan, Undip, Semarang.
- [8] Anthony, F.Molland, 2008, *The maritime engineering reference book: a guide to ship design, construction and operation*. Charon Tec., A Macmillan Company. Hungary.
- [9] Popov, E.P., 1978. *Mechanics of Material*, 2nd Edition. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- [10] Logan Daryl L., 2008, *A first Course in The Finite Element Method*, Fourth Edition. Canada: Nelson Education Ltd.
- [11] Stephen J. Kennedy. *Composite Steel Structural Sandwich Plate System*. United States Patent, Ottawa, Canada.
- [12] D. J. L. Kennedy, R. A. Dorton and S. D. B. Alexander. *The Sandwich Plate System For Bridge Decks*. *Intelligent Engineering (Canada) Limited*, Ottawa, Ontario.
- [13] Dinda. (2009), Resin, Informasi tentang dunia kedokteran dan farmasi medicafarma.blogspot.co.id
- [14] 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.
- [15] Ramakrishnan. K, Kumar, P.(2016), *Application of Sandwich Plate System for Ship Structures* , Aries Internasional Research Institute, UAE
- [16] Babicz, Jan, 2015, *Wartsila Encyclopedia of Ship Technology*, 2nd Edition. Helsinki Wartsila Corporation.