



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kekuatan *Sandwich Plate System* pada Konstruksi Geladak Kendaraan Kapal *Ferry Ro-Ro 500 GT* Akibat Perubahan Muatan

Rakhmat Aizzat Wahid¹⁾, 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 : rakhmataizzatwahid@gmail.com, ahmadfzakki@yahoo.com, hartono.yudo@yahoo.com

Abstrak

Kekuatan konstruksi kapal merupakan faktor utama dalam perancangan konstruksi kapal, terutama pada bagian geladak kendaraan. Kemajuan zaman pada saat ini menciptakan banyak inovasi dalam bidang kekuatan konstruksi kapal, terutama dalam pengembangan material untuk konstruksi struktur kapal. Salah satunya adalah hadirnya sebuah inovasi penggunaan material *Sandwich Plate System* yang merupakan material inovatif pengganti material berbahan baja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kekuatan yang memenuhi *Safety Factor* yang telah ditetapkan regulasi BKI (Indonesia), serta mendapatkan nilai perubahan berat konstruksi di bagian struktur geladak kendaraan Kapal Ferry Ro – Ro 500 GT. Permodelan dan analisa menggunakan software berbasis *finite element analysis* untuk mengetahui besaran respons struktur berupa nilai tegangan. Hasil analisa pada penelitian ini memenuhi batas maksimum tegangan rules BKI (tegangan $\max < 117$ Mpa). tegangan tertinggi Loading Condition 1 terjadi pada saat sagging dengan konstruksi *cardeck* menggunakan *sandwich plate system* sebesar 64,4 N/mm² dan nilai deformasi 1,99 mm, tegangan pada Loading Condition 2 terjadi pada saat hogging dengan konstruksi *cardeck* menggunakan *sandwich plate system* sebesar 63,7 N/mm² dan nilai deformasi 1,94 mm. Reduksi berat yang terjadi sebesar 9,7 Ton dengan nilai presentase 5,1 persen. Sehingga berat konstruksi pada *cardeck* yang menggunakan *sandwich plate system* lebih ringan.

Kata Kunci : Geladak kendaraan, *Sandwich Plate System*, Tegangan, *Safety factor*, Berat konstruksi

1. PENDAHULUAN

Kekuatan konstruksi kapal merupakan faktor utama dalam perancangan konstruksi kapal, terutama pada bagian geladak kendaraan. Perhitungan kekuatan pada konstruksi geladak kendaraan sangat diperhitungkan karena beban yang diterima oleh geladak kendaraan lebih besar dibandingkan geladak lainnya.

Kemajuan zaman pada saat ini menciptakan banyak inovasi dalam bidang kekuatan konstruksi kapal, terutama dalam pengembangan material untuk konstruksi struktur kapal. Salah satunya adalah hadirnya sebuah inovasi penggunaan material SPS (*Sandwich Plate System*) yang merupakan material inovatif dalam bentuk komposit lapisan sebagai salah satu pengganti material berbahan baja.

Berdasarkan hasil analisa aplikasi pada struktur kapal, *sandwich panel* mampu memberikan kesederhanaan bentuk konstruksi geladak, dengan tidak mengurangi nilai kekuatan dari konstruksi, sehingga menghasilkan bentuk konstruksi yang lebih ringan [1]. Keuntungan yang lain adalah fabrikasi yang mudah dikarenakan bentuk konstruksi yang sederhana dengan adanya pengurangan penegar mengakibatkan lebih hemat biaya produksi meliputi pengelasan dan pengecatan bagian penegar yang terdapat pada konstruksi SPS [2]. Penelitian lain melakukan evaluasi berat konstruksi pada 21 model Barge dari berbagai jenis muatan dan bentuk sederhana konstruksi penegar dengan menggunakan material SPS. Berdasarkan evaluasi tersebut dihasilkan reduksi berat yang dapat diperoleh dengan penerapan struktur SPS sebagian besar model Barge yang diteliti memberikan nilai reduksi yang bervariasi antara 5% dan 8% [3].

Intelligent Engineering (IE) selaku pemegang hak paten SPS telah melakukan pengujian karakteristik dari material SPS untuk konstruksi kapal dan konstruksi bangunan. IE sendiri telah memberikan nilai-nilai material properties dari keunggulan SPS ini [4].

Pada penelitian kali ini terdapat variasi perubahan jenis muatan untuk dilakukan uji kekuatan dari struktur SPS geladak kendaraan kapal *Ferry Ro-Ro 500 GT*. Bagian struktur yang diuji adalah geladak kendaraan pada bagian *paralel middle body* kapal. Kondisi pembebanan dari luar yang terjadi meliputi gelombang air tenang, *sagging* dan *hogging* pada perairan Indonesia.

Berdasarkan hal tersebut, dalam penelitian ini dilakukan analisa bersifat simulasi numerik bertujuan untuk mengidentifikasi perbandingan kekuatan yang memenuhi *Safety Factor* yang telah ditetapkan regulasi BKI (Indonesia), serta mendapatkan nilai perubahan berat konstruksi dari struktur konstruksi menggunakan baja konvensional dengan struktur konstruksi menggunakan material SPS (*Sandwich Plate System*) di bagian struktur pelat datar pada geladak kendaraan Kapal Motor Penumpang 500 GT tipe *Ro – Ro Passenger Ship*.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Kapal *Ferry* adalah jenis kapal yang digunakan untuk membawa penumpang dan kendaraan. Kapal *Ferry* adalah kapal transportasi yang digunakan untuk jarak dekat, biasanya berfungsi sebagai pengangkut kendaraan atau manusia untuk berpindah dari satu pulau ke pulau lainnya seperti selat dan danau [7].

Ro – Ro adalah singkatan dari *Roll on roll off*, oleh karena itu kapal ini dilengkapi dengan pintu rampa / *Ramp door* yang biasanya berada pada depan dan belakang kapal yang dihubungkan dengan *Moveble bridge* atau dermaga apung ke dermaga. Muatan kendaraan - kendaraan ditempatkan pada geladak kendaraan sedangkan penumpang ditempatkan pada *Passanger deck*. *Deck* pada kapal ini juga dibuat landai untuk tempat kendaraan keluar masuk dari bagian haluan (depan) sampai bagian buritan (belakang) [8].

Ukuran utama kapal *Ferry Ro-Ro 500 GT*

<i>Length over all (Loa)</i>	: 45,50 m
<i>Length perpendiculars (Lpp)</i>	: 40,15 m
<i>Breadth moulded (B)</i>	: 12,00 m
<i>Depth moulded (D)</i>	: 3,20 m
<i>Design draught (T)</i>	: 2,15 m
<i>Maximum Speed</i>	: 12 knots

2.2. Geladak Kendaraan

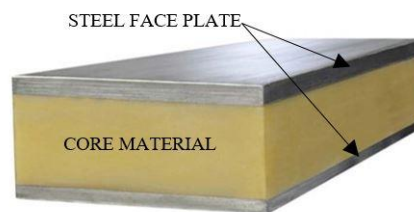
Geladak kendaraan merupakan suatu dek atau geladak pada kapal yang berguna untuk menampung muatan berupa kendaraan, biasanya terdapat pada kapal *Ferry*. Struktur konstruksi pada geladak kendaraan akan menerima beban yang cukup besar dari muatan yang berupa kendaraan. Ada beberapa jenis geladak kendaraan diantaranya adalah :

1. Geladak kendaraan dengan sistem terpadu
2. Geladak kendaraan tanpa sistem terpadu

2.3. Sandwich Plate System

Sandwich plate system adalah sebuah struktur yang terdiri dari dua jenis material yang berbeda membentuk suatu lapisan. Material ringan dalam bentuk komposit, *sandwich plate system* yang terdiri dari struktur dua pelat logam/*face plate* yang dipisahkan oleh material inti/*core material* yang bersifat elastomer.

Sandwich Plate System merupakan salah satu bagian dari jenis *hybrid metal*. Dimana struktur *sandwich* jenis ini merupakan campuran antara bahan metal dan non metal. Terdiri dari kulit yang terbuat dari pelat dan inti (*core*) terbuat dari elastomer. Pelat pada struktur ini, biasanya terbuat dari baja, digabungkan sebagai batas luar dari material di kedua sisi dan kemudian disatukan oleh material *polyurethane* [3].



Gambar 1. *Sandwich Plate System* (SPS)

Pemilihan jenis material kulit dan material inti menjadi suatu kombinasi yang sangat menentukan pola transfer beban dan karakteristik mekanik dari panel *sandwich*. Penelitian yang ada telah melakukan percobaan pembuatan *sandwich plate* dengan bahan baku multiplek panel dan *polyurethane foam*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa, *sandwich panel* yang dibuat masih belum dapat digunakan pada struktur utama kapal [9].

Untuk mengetahui kekuatan daripada material *sandwich* ini, telah dilakukan beberapa penelitian dan pengujian dari material *sandwich*, diantaranya :

1. Pengujian mekanis yaitu dengan menggunakan tarik, tekan, geser, puntir, dan tekuk.
2. Pengujian ketahanan *fatigue* (S-N curves) pada ikatan antar bidang pelat dan

sambungan las untuk penggabungan antara setiap panel SPS.

3. Ketahanan pada air laut dan ketahanan kimia pada elastomer harus dapat bertahan selama proses pengoperasian material.
4. Ketahanan terhadap getaran dan peredaman terhadap kebisingan. SPS memberikan ketahanan yang jauh lebih baik dari penggunaan baja.
5. Ketahanan terhadap *balistik*, diuji dengan dimensi peluru 7,62 mm, hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa kurva balistik untuk SPS berada di bawah dari baja, yang menandakan SPS lebih tahan terhadap ketahanan balistik dibanding dengan material baja.

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 [10]. 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].

2.4. Material Syntheticresin.

Syntheticresin adalah suatu campuran bahan non metalik buatan yang dapat dipadukan dengan komponen material lain untuk menjadi suatu bentuk benda, seperti penggunaan resin pada pembuatan kapal. Secara fisis, resin berbentuk keras, transparan plastis. Resin pada penelitian kali ini merupakan *resin polyester* yang bersifat *thermoset* dimana proses pembentukannya melalui reaksi kimia dengan bantuan katalis sebagai katalisator agar resin mengeras dan *talc* sebagai bubuk pengikat pada reaksi agar semakin getas.

Syntheticresin yang digunakan *core material* penelitian ini adalah *Syntheticresin* dengan komposisi penyusun 50% Resin + 50% Talc + 0,3% Katalis yang telah dilakukan pengujian eksperimen sesuai dengan standarisasi pengujian yang ditetapkan oleh *Llyod's Register* (2015) dalam penentuan *core material* *Syntheticresin* dari uji eksperimen yang telah digunakan adalah sebagai berikut [1]:

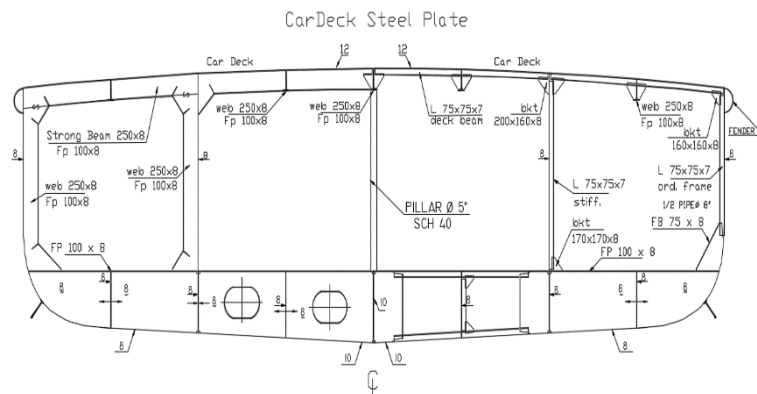
Tabel 1. Hasil Pengujian *Core Material Syntheticresin*

<i>Mechanical properties syntheticresin 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>Elasticity modulus</i>	2792,06 Mpa
<i>Shear modulus</i>	1396,03 Mpa
<i>Density</i>	1.728 Kg/m ³

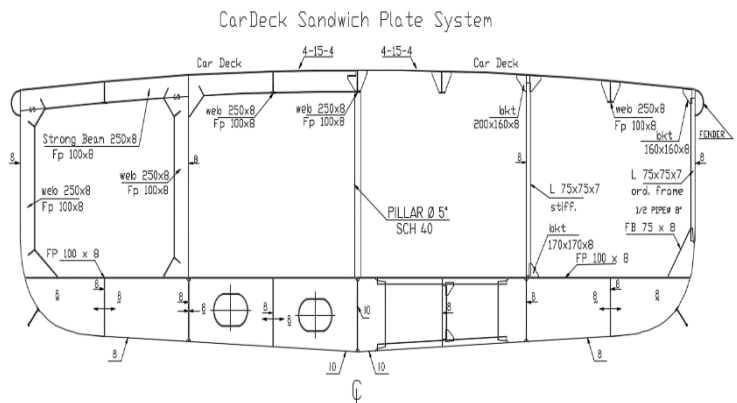
2.5. Aplikasi Sandwich Panel pada Konstruksi Kapal

Penelitian pada simulasi FE (*Finite Element*) pada penggunaan SPS pada konstruksi *inner bottom* kapal *bulk carier* (BC) 11.000 DWT, dihasilkan nilai tegangan maksimum pada baja AH36 sebesar 226 Mpa dan SPS sebesar 221 Mpa. Dengan hilangnya penegar berat konstruksi berkurang sebesar 13,05% dari penggunaan material baja AH36 sehingga memberikan peningkatan *payload* sebesar 13,05% [9].

Pada penelitian ini terdapat perbedaan konstruksi antara konstruksi geladak kendaraan yang menggunakan baja dan *sandwich plate system*.



Gambar 2. Existing Car Deck Construction



Gambar 3. SPS Car Deck Construction

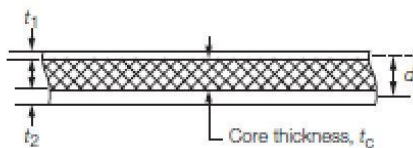
Tabel 2. Konstruksi Geladak Kendaraan

Konstruksi Geladak Kendaraan	
Existing Plate	
Plate Cardeck	12 mm
Strong Beam	PL 250 x 8 FP 100 x 8
Deck Beam	L 75 x 75 x 7
Centre Deck Girder	PL 250 x 8 FP 100 x 8
Side Deck Girder	PL 250 x 8 FP 100 x 8
Sandwich Plate System	
Plate CarDeck	23 mm (4-15-4)
Strong Beam	PL 250 x 8 FP 100 x 8
Centre Deck Girder	PL 250 x 8 FP 100 x 8
Side Deck Girder	PL 250 x 8 FP 100 x 8

Pada tabel 2 terdapat perbedaan ketebalan plat antaran geladak kendaraan yang menggunakan plat biasa dan SPS, serta pengurangan *deck beam* pada konstruksi geladak kendaraan yang menggunakan *Sandwich Plate System*.

2.6. Penentuan Ketebalan Sandwich Panel pada Konstruksi Kapal.

Penentuan ketebalan dari lapisan *sandwich plate system* berdasarkan peraturan dari Llyod's Register (*Provisional Rules for The Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*) 2015 [6].



Gambar 4. Scantling Face Plate dan Core Material

Pada gambar 4, material *faceplate* atas dan bawah (t_1 dan t_2) merupakan baja. Ketebalan dari *face plate* dan *core material* (t_c) harus ditentukan berdasarkan peraturan dari Llyod's Register (2015). Untuk ketebalan lapisan inti (*core material*) tidak boleh dibawah $t_c = 15$ 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 [5].

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

dimana :

AR =

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

l = panjang panel (m)

Z_{rule} = ekivalen 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.

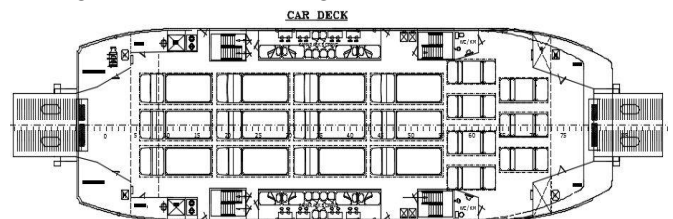
R = nilai indeks ketebalan core material $R \leq 1$

Penentuan ketebalan dari *Sandwich Plate System* (t_1 , t_c , t_2) dapat menggunakan persamaan 1 berdasarkan peraturan Llyod's Register (*Provisional Rules for The Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*) 2015.

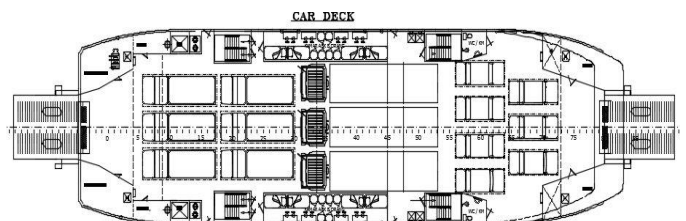
2.7. Beban

Beban yang diterima oleh geladak kendaraan adalah secara vertikal yang berasal dari pembebanan muatan maupun beban dari passanger deck. Pengkondisian pembebanan disesuaikan dengan sumbu ordinat pada program numerik bersifat tetap, sebab analisa yang digunakan adalah static analysis [12].

Pada penelitian ini terdapat variasi perubahan *Loading Condition Ferry Ro-Ro 500 GT* untuk mengukur kekuatan dari geladak kendaraan.



Gambar 5. Loading Condition 1



Gambar 6. Loading Condition 2

Pada gambar 5 dan 6 menunjukkan adanya perubahan jenis muatan, 6 buah truck medium pada *loading condition 1* diubah menjadi 3 buah tronton pada *loading condition 2*.

Tabel 3. Loading Condition

Jenis Kendaraan	Jumlah	Berat (ton)
Loading Condition 1		
Sedan	7	0,8
Truck Medium	12	8
Total Berat		101,6
Loading Condition 2		
Sedan	7	0,8
Tronton	3	16
Truck Medium	6	8
Total Berat		101,6

Pada tabel 2 terdapat variasi perubahan muatan, muatan yang berubah adalah jenis kendaraannya saja. Akan tetapi untuk total berat dari kendaraan pada saat *loading condition 1* dan *loading condition 2* itu tetap sama, sehingga nilai dari *dead weight tonnage* (DWT) kapal tetap sama sesuai perancangan.

2.8. Tegangan (*Stress*)

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 [13].

Secara matematis dapat dituliskan:

$$\sigma = F/A \quad (2)$$

dimana :

$$\begin{aligned} \sigma &= \text{Tegangan (Pa)} \\ F &= \text{Gaya (N)} \\ A &= \text{Luas penampang (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

2.9. 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 :

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (3)$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa hubungan antara tegangan dan regangan di pengaruhi oleh nilai modulus elastisitas atau *modulus young* dari masing – masing material [13].

2.10 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Safety factor adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik menerima beban dari luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal bahan di dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban *ultimat* (*ultimate load*) [13].

Acuan yang dipakai untuk penelitian ini sesuai peraturan BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) untuk kapal dengan $L < 90$ meter didapat tegangan ijin sebesar 117 N/mm^2 .

2.11 Konsep Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*finite element method*) biasa dipandang sebagai perluasan dari metode perpindahan ke masalah continuum berdimensi dua dan tiga seperti plat, struktur selaput (*shell*) dan benda pejal. Elemen ini disebut elemen berhingga dan dihubungkan bersama-sama di sejumlah titik simpul [14].

Penyelesaian dari metode elemen hingga umumnya menggunakan metode matriks. Notasi matriks, matriks gaya dinyatakan dalam $\{F\} = \underline{F}$ dan matriks *displacement* dalam $\{d\} = \underline{d}$ [15]. Ketepatan metode elemen hingga dipengaruhi oleh parameter-parameter berikut yang disusun berdasarkan keutamaannya [16] :

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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Ketebalan *Sandwich Panel*

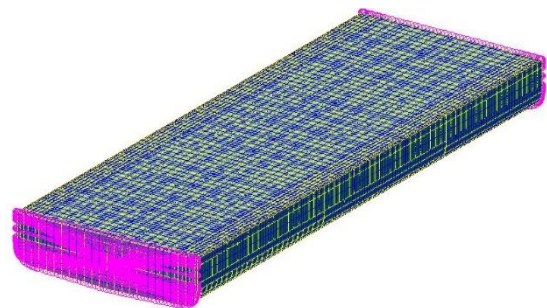
Perhitungan ketebalan pelat baja pada konstruksi geladak kendaraan konvensional adalah 12 mm sesuai perancangan yang telah dibuat oleh pihak *owner*. Sedangkan ketebalan untuk sandwich panel pada geladak kendaraan yang menggunakan struktur *sandwich plate system* dapat dihitung menggunakan persamaan 1.

Dari hasil perhitungan ketebalan material *sandwich panel* yang digunakan untuk menggantikan struktur pelat baja konvensional pada konstruksi geladak kendaraan didapatkan dengan konfigurasi ketebalan 4-15-4. Untuk $t_1 = 4 \text{ mm}$; $t_c = 15 \text{ mm}$; $t_2 = 4 \text{ mm}$, dimana t_1 dan t_2 adalah ketebalan lapisan baja/*face plate* dan t_c adalah ketebalan material inti/*core material*. *Core material* yang digunakan adalah *syntheticresin*.

3.2 Pembuatan Model

Kapal *Ferry Ro-Ro 500 GT* dimodelkan berdasarkan metode elemen hingga sehingga menjadi sebuah *system multi degree of freedom* dan pembuatan model serta analisisnya menggunakan *software finite element analysis*.

Permodelan dibuat pada bagian *Paralel middle body* kapal saja, dimana panjang model sebesar 34 meter. Pertimbangan pembuatan model bagian *parallel middle body* saja adalah untuk mempermudah dalam pembuatan model.



Gambar 7. Permodelan *Paralel middle body*

3.3 Perhitungan Tekanan

Pembebanan pada kapal di kapal ini terdiri dari tekanan air laut dan tekanan dari beban muat itu sendiri yaitu kendaraan yang berada di geladak kendaraan.

a). Tekanan Air Laut

Merupakan beban eksternal yang diterima akibat adanya tekanan dari air laut. Perhitungan tekanan air laut dapat menggunakan formulasi

$$P = \rho g h$$

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

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

$$h = \text{Kedalaman permukaan } 2,15 \text{ m}$$

Maka:

$$P = \rho g h$$

$$P = 1025 \times 9,81 \times 2,15$$

$$P = 21618,7875 \text{ N/m}^2$$



Gambar 8. Skema Tekanan Hidrostatik

b). Tekanan Muatan

Merupakan beban yang terdapat pada geladak kendaraan dimana terdapat beban muatan sebelum dan setelah perubahan muatan. Perhitungan tekanan muatan dapat menggunakan formulasi:

1. Berat 1 Mobil Truck Medium = 8000 Kg

$$F = 13080 \text{ N}$$

$$A = 62500 \text{ mm}^2$$

$$P = F / A$$

$$= 13080 / 62500$$

$$= 0,20928 \text{ N/mm}^2$$

2. Berat 1 Mobil Sedan = 800 Kg

$$F = 1962 \text{ N}$$

$$A = 62500 \text{ mm}^2$$

$$P = F / A$$

$$= 1962 / 62500$$

$$= 0,031392 \text{ N/mm}^2$$

3. Berat 1 Tronton = 16000 Kg

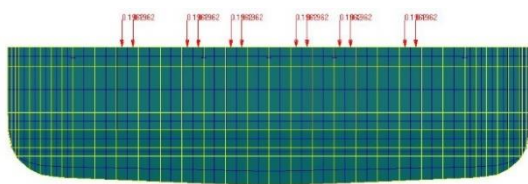
$$F = 15696 \text{ N}$$

$$A = 125000 \text{ mm}^2$$

$$P = F / A$$

$$= 15696 / 125000$$

$$= 0,125568 \text{ N/mm}^2$$



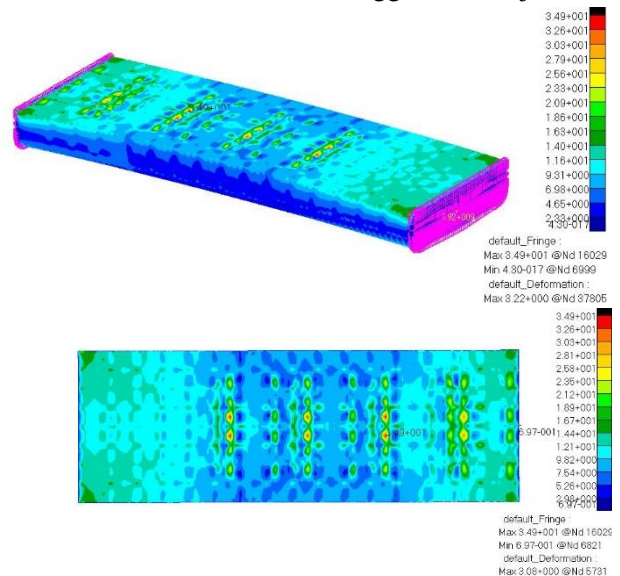
Gambar 9. Skema Tekanan Geladak Kendaraan

3.4 Hasil Analisa Kekuatan

3.4.1 Kondisi Loading Condition 1

1. Kondisi Air Tenang

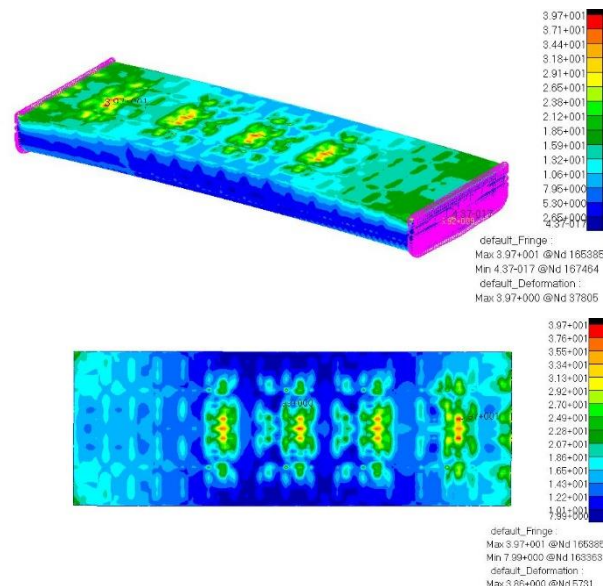
- a) Konstruksi CarDeck menggunakan baja



Gambar 10. Hasil tegangan pada loading condition 1 kondisi air tenang menggunakan konstruksi baja.

Tegangan maksimal pada Gambar 10 sebesar 34,9 MPa dan nilai deformasi sebesar 0,322 cm terjadi pada node 16029 konstruksi pelat geladak kendaraan yang menggunakan baja.

- b) Konstruksi CarDeck menggunakan SPS

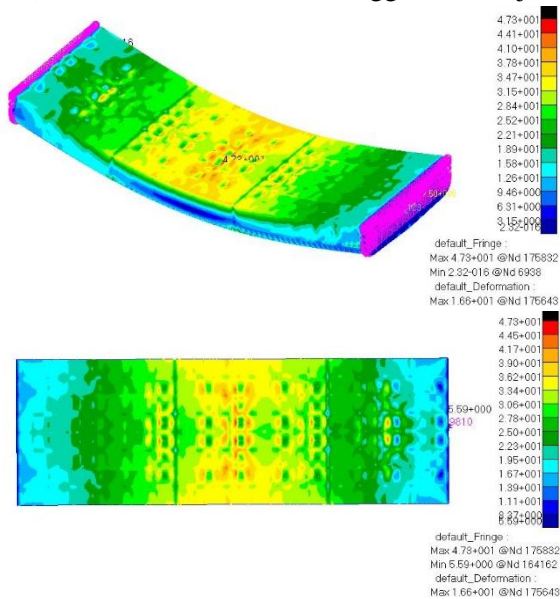


Gambar 11. Hasil tegangan pada loading condition 1 kondisi air tenang menggunakan konstruksi SPS.

Tegangan maksimal pada Gambar 11 sebesar 39,7 MPa dan nilai deformasi sebesar 0,397 cm terjadi pada node 165385 pada cardeck SPS.

2. Kondisi *Sagging*

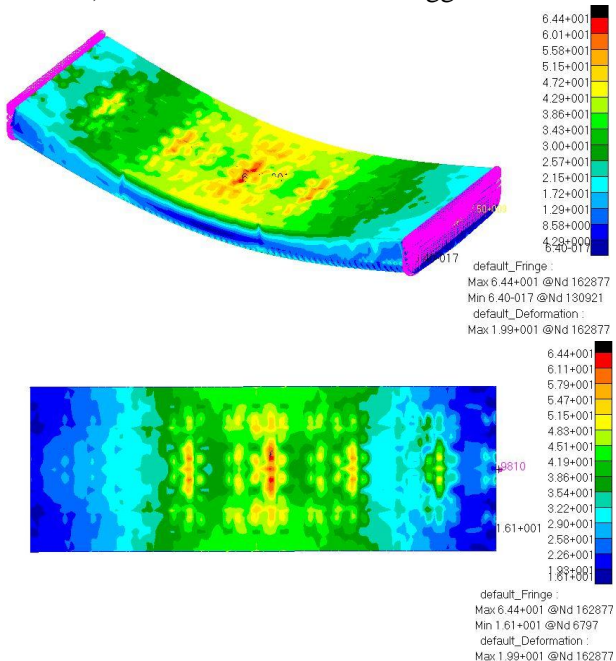
a) Konstruksi *CarDeck* menggunakan baja



Gambar 12. Hasil tegangan pada *loading condition 1* kondisi *sagging* menggunakan konstruksi baja.

Tegangan maksimal pada Gambar 12 sebesar 47,3 MPa dan nilai deformasi sebesar 1,66 cm terjadi pada *node 175832* konstruksi pelat geladak kendaraan yang menggunakan baja.

b) Konstruksi *CarDeck* menggunakan SPS

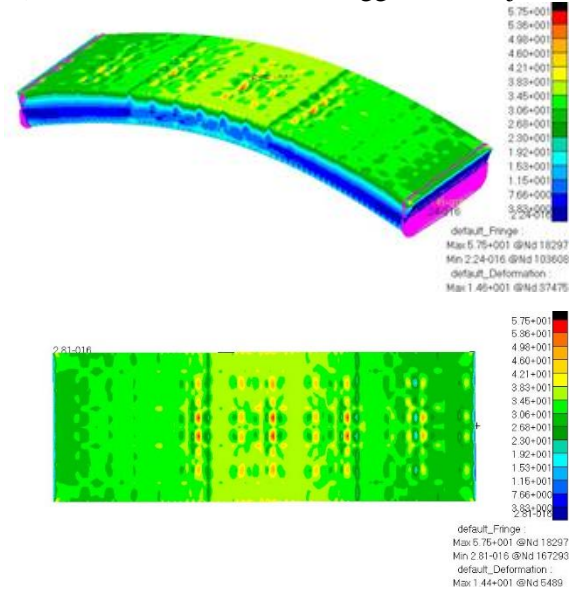


Gambar 13. Hasil tegangan pada *loading condition 1* kondisi *sagging* menggunakan konstruksi SPS.

Tegangan maksimal pada Gambar 13 sebesar 64,4 MPa dan nilai deformasi sebesar 1,99 cm terjadi pada *node 162877* konstruksi pelat geladak kendaraan yang menggunakan SPS.

3. Kondisi *Hogging*

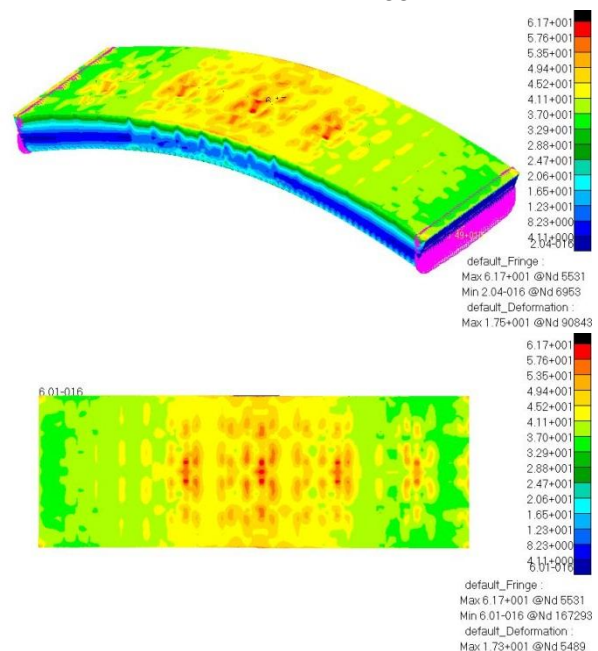
a) Konstruksi *CarDeck* menggunakan baja



Gambar 14. Hasil tegangan pada *loading condition 1* kondisi *hogging* menggunakan konstruksi baja.

Tegangan maksimal pada Gambar 14 sebesar 57,5 MPa dan nilai deformasi sebesar 1,46 cm terjadi pada *node 18297* konstruksi pelat geladak kendaraan yang menggunakan baja.

b) Konstruksi *CarDeck* menggunakan SPS



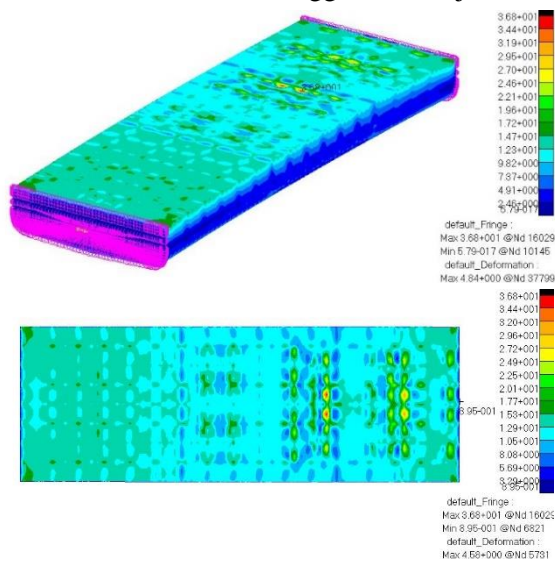
Gambar 15. Hasil tegangan pada *loading condition 1* kondisi *hogging* menggunakan konstruksi SPS.

Tegangan maksimal pada Gambar 15 sebesar 61,7 MPa dan nilai deformasi sebesar 1,75 cm terjadi pada *node 5531* konstruksi pelat geladak kendaraan yang menggunakan SPS.

3.4.2 Kondisi Loading Condition 2

1. Kondisi Air Tenang

a) Konstruksi CarDeck menggunakan baja

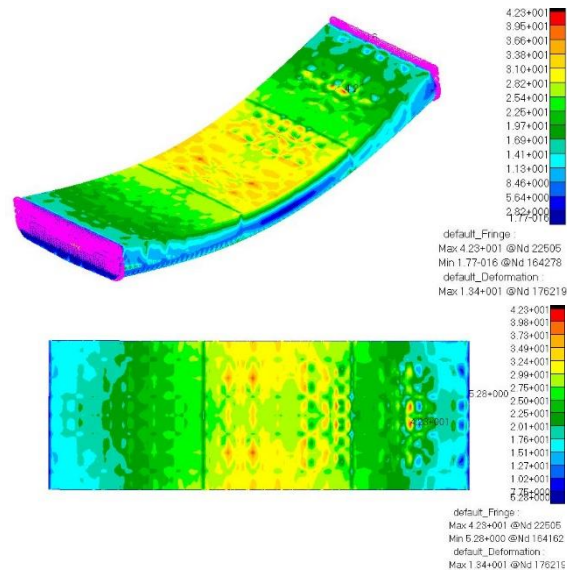


Gambar 16. Hasil tegangan pada loading condition 2 kondisi air tenang menggunakan konstruksi baja.

Tegangan maksimal pada Gambar 16 sebesar 36,8 MPa dan nilai deformasi sebesar 0,484 cm terjadi pada node 16029 konstruksi pelat geladak kendaraan yang menggunakan baja.

2. Kondisi Sagging

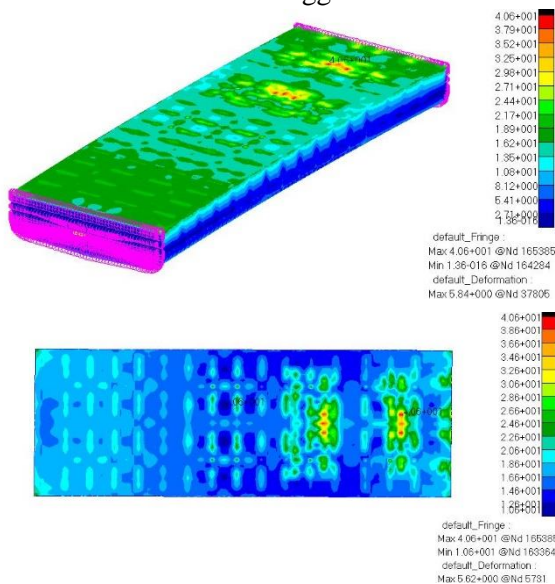
a) Konstruksi CarDeck menggunakan baja



Gambar 18. Hasil tegangan pada loading condition 2 kondisi sagging menggunakan konstruksi baja.

Tegangan maksimal pada Gambar 18 sebesar 42,3 MPa dan nilai deformasi sebesar 1,34 cm terjadi pada node 22505 konstruksi pelat geladak kendaraan yang menggunakan baja.

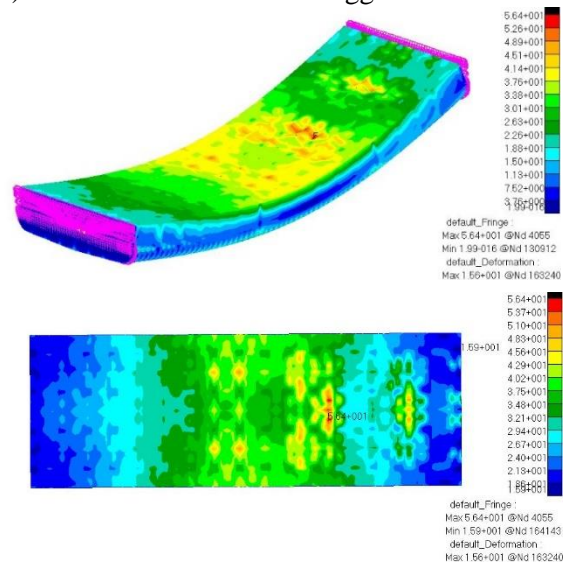
b) Konstruksi CarDeck menggunakan SPS



Gambar 17. Hasil tegangan pada loading condition 2 kondisi air tenang menggunakan konstruksi SPS.

Tegangan maksimal pada Gambar 17 sebesar 40,6 MPa dan nilai deformasi sebesar 0,584 cm terjadi pada node 165385 konstruksi pelat geladak kendaraan yang menggunakan SPS.

b) Konstruksi CarDeck menggunakan SPS

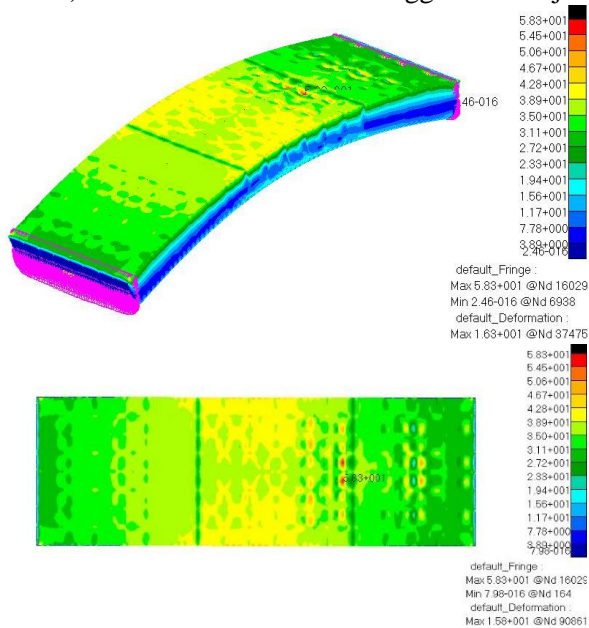


Gambar 19. Hasil tegangan pada loading condition 2 kondisi sagging menggunakan konstruksi SPS.

Tegangan maksimal pada Gambar 19 sebesar 56,4 MPa dan nilai deformasi sebesar 1,56 cm terjadi pada node 4055 konstruksi pelat geladak kendaraan yang menggunakan SPS.

3. Kondisi Hogging

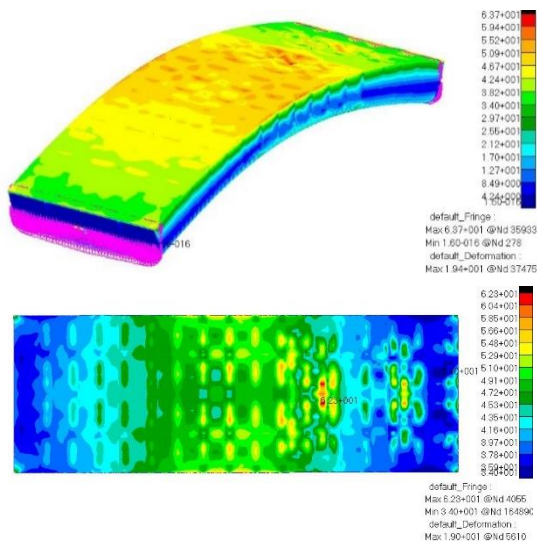
a) Konstruksi CarDeck menggunakan baja



Gambar 20. Hasil tegangan pada loading condition 2 kondisi hogging menggunakan konstruksi baja.

Tegangan maksimal pada Gambar20 sebesar 58,3 MPa dan nilai deformasi sebesar 1,63 cm terjadi pada node 16029 konstruksi pelat geladak kendaraan yang menggunakan baja.

b) Konstruksi CarDeck menggunakan SPS



Gambar 21. Hasil tegangan pada loading condition 2 kondisi hogging menggunakan konstruksi SPS.

Tegangan maksimal pada Gambar 21 sebesar 63,7 MPa dan nilai deformasi sebesar 1,94 cm terjadi pada node 35933 konstruksi pelat geladak kendaraan yang menggunakan SPS.

3.5 Rangkuman Hasil Analisa Tegangan

1. Kondisi Loading Condition 1

Tabel 4. Perhitungan Hasil Analisa Tegangan Kondisi Loading Condition 1

Kondisi	Tegangan (Mpa)	Deformasi (cm)
Konstruksi Baja		
Air Tenang	34,9	0,322
Sagging	47,3	1,66
Hogging	57,5	1,46
Konstruksi Sandwich Plate System		
Air Tenang	39,7	0,397
Sagging	64,4	1,99
Hogging	61,7	1,75

2. Kondisi Loading Condition 2

Tabel 5. Perhitungan Hasil Analisa Tegangan Kondisi Loading Condition 2

Kondisi	Tegangan (Mpa)	Deformasi (cm)
Konstruksi Baja		
Air Tenang	36,8	0,484
Sagging	42,3	1,34
Hogging	58,3	1,63
Konstruksi Sandwich Plate System		
Air Tenang	40,6	0,584
Sagging	56,4	1,56
Hogging	63,7	1,94

Dari tabel 4 dan tabel 5 merupakan hasil tegangan maksimal yang didapat menggunakan software finite element analysis pada bagian parallel middle body. Permodelan struktur konstruksi dan pembebanan sudah disesuaikan dengan perancangan pada general arrangement dan profile construction yang didapat pada studi lapangan sebelumnya. Permodelan juga menggunakan kondisi gelombang di perairan Indonesia.

3.6 Perhitungan Berat Konstruksi

Perhitungan berat konstruksi dilakukan untuk mengetahui perbedaan berat antara konstruksi Geladak Kendaraan yang menggunakan baja dan setelah menggunakan Sandwich Plate System. Berikut ini hasil dari perhitungan berat konstruksi:

Tabel 6. Berat Paralel middle body

Konstruksi	Total Berat (Ton)	Selisih Berat (Ton)
Baja	191,7	9,7
SPS	182	

Dari Tabel 6 maka dapat disimpulkan bahwa Berat konstruksi menggunakan *Sandwich Plate System* lebih ringan dibandingkan dengan menggunakan baja konvensional pada bagian *parallel middle body* sebesar 9,7 ton dengan presentase 5,1 persen saat menggunakan *Sandwich Plate System*. Nilai dari *light weight tonnage* (LWT) kapal setelah menggunakan *Sandwich Plate System* akan mengalami pengurangan berat. Sehingga nilai *Payload* dari kapal itu sendiri bisa bertambah dengan acuan nilai *displacement* kapal yang menggunakan konstruksi baja.

3.7 Perhitungan Safety Factor dan Perhitungan Tegangan Ijin.

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik terhadap beban luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal bahan dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban *ultimate* (*ultimate load*).

Sebelum menghitung *Safety Factor*, dicari terlebih dahulu nilai tegangan ijin sesuai dengan ketentuan BKI 2013 Vol.II Sec.V.C.1.2

Tegangan ijin $\sigma_p = 18,5 \cdot (\sqrt{L_{pp}/k})$ for $L < 90$ m

Didapat tegangan ijin nya adalah 117 N/mm².

$$sf = \frac{\sigma_{Ijin}}{\sigma_{Maksimal}} > 1 \quad (4)$$

Setelah mengetahui nilai tegangan yang terjadi pada 2 *Loading Condition* baik pada penggunaan konstruksi baja konvensional dan *Sandwich Plate System* maka diambil tegangan maksimum untuk menghitung *safety factor*.

1. Safety Factor kondisi Loading Condition 1

Tabel 7. Safety Factor kondisi

Loading Condition 1

Kondisi	Tegangan Maks	Tegangan Ijin	Keterangan
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
Konstruksi Baja			
Air Tenang	34,9	117	Memenuhi
Sagging	47,3	117	Memenuhi
Hogging	57,5	117	Memenuhi
Konstruksi Sandwich Plate System			
Air Tenang	39,7	117	Memenuhi
Sagging	64,4	117	Memenuhi
Hogging	61,7	117	Memenuhi

2. Safety Factor kondisi Loading Condition 2

Tabel 8. Safety Factor kondisi

Loading Condition 2

Kondisi	Tegangan Maks	Tegangan Ijin	Keterangan
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
Konstruksi Baja			
Air Tenang	36,8	117	Memenuhi
Sagging	42,3	117	Memenuhi
Hogging	58,3	117	Memenuhi
Konstruksi Sandwich Plate System			
Air Tenang	40,6	117	Memenuhi
Sagging	56,4	117	Memenuhi
Hogging	63,7	117	Memenuhi

Hasil perhitungan *safety factor* maka dapat disimpulkan bahwa semua variasi model pada keadaan air tenang, *sagging* dan *hogging* dalam kondisi *Loading Condition 1* dan *Loading Condition 2* baik yang menggunakan konstruksi baja dan konstruksi *Sandwich Plate System* memenuhi batas aman dan syarat faktor keselamatan menurut standar Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

3.7 Validasi Model

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). Perhitungan manual yang akan dilakukan dengan sebagai berikut:

a. Perhitungan Manual

$$Defleksi = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (5)$$

F = Force (1000 N)

L = Panjang Model (34000 mm)

E = Modulus Elastisitas (2,1 x 10⁵ N/mm²)

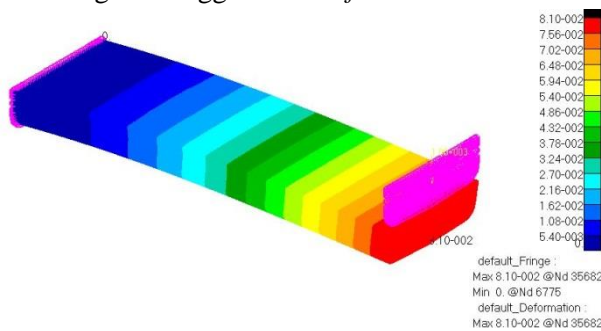
I = Inersia (753515390511,68 mm⁴)

Maka:

$$= \frac{1000 \times 34000^3}{3 \times 2,1 \times 10^5 \times 753515390511,68}$$

$$= 8,28 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

b. Perhitungan Menggunakan *Software*



Gambar 22. Validasi model menggunakan *software*

Hasil validasi menggunakan *software* nilai dari deformasi model adalah $8,10 \times 10^{-2}$ mm.

Tabel 9. Hasil Validasi

Hasil Analisa	Hasil Perhitungan	Koreksi
$8,10 \times 10^{-2}$	$8,28 \times 10^{-2}$	97,83 %

4. KESIMPULAN

Penelitian yang telah dilakukan terhadap model kapal *Ferry Ro-Ro 500 GT* tentang perbandingan kekuatan struktur konstruksi geladak kendaraan yang menggunakan baja konvensional dan *Sandwich Plate System*, didapatkan konfigurasi ketebalan *sandwich plate system* yang didapat sebesar 4-15-4 hasil dari perhitungan menggunakan *rules LR 2015*.

Respon struktur dengan tegangan tertinggi *Loading Condition 1* terjadi pada saat *sagging* dengan konstruksi *cardeck* yang menggunakan *sandwich plate system* sebesar 64,4 N/mm² dengan nilai deformasi 1,99 mm, dan pada saat *Loading Condition 2* terjadi pada saat *hogging* dengan konstruksi *cardeck* yang menggunakan *sandwich plate system* sebesar 63,7 N/mm² dengan nilai deformasi 1,94 mm.

Reduksi berat yang terjadi antara penggunaan konstruksi baja dengan penegar lengkap dan *sandwich plate system* tanpa penegar sebesar 9,7 Ton dengan nilai presentase 5,1 persen, Sehingga berat konstruksi pada *cardeck* yang menggunakan *sandwich plate system* lebih ringan. Dalam penelitian ini model dengan konstruksi *cardeck* yang menggunakan baja dengan penegar dan *sandwich plate system* dengan tanpa penegar baik pada saat kondisi *Loading Condition 1* dan *Loading Condition 2* semuanya memenuhi *safety factor* yang telah ditetapkan oleh BKI.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Utomo E, Zubaydi A., Penggunaan Sandwich Panel (Pelat Baja dan Syinthetic Resin) pada Konstruksi Kapal, Faculty of Marine Technology, ITS, Surabaya, Indonesia, 2016
- [2] Ramakrishnan. K, Kumar, P., *Application of Sandwich Plate System for Ship Structures*, Aries Internasional Research Institute, UAE, 2016.
- [3] Momcilovic.N., Motok.M., *Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of application of Sandwich Plate System*, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia, 2009.
- [4] Intelligent Engineering, Ltd., *SPS The Sandwich Plate System Heavy Engineering Composite from Intelligent Engineering & Safe Concordia SPS Overlay*, <http://www.ie-sps.com>, 2015.
- [5] S. CORE., *Best Practice Guide for Sandwich Structures in Marine Applications*, 279, 2013.
- [6] Llyod’s Register., *Provisional Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*, 2015.
- [7] Djaya,I K., *Teknik Konstruksi Kapal Baja 1*. Jakarta : Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 2008.
- [8] Dokkum, van Klaas, “*Ship Knowledge – A Modern Encyclopedia*”, Dokmar, The Netherlands, 2003.
- [9] Utomo E, Baidowi A., “*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, 2015.
- [10] 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
- [11] Stephen J. Kennedy, *Composite Steel Structural Sandwich Plate System*. United States Patent, Ottawa, Canada.
- [12] Doni Setyawan,dkk., *Kekuatan Struktur Kapal*. Jakarta : Pradnya Paramita, 1999.
- [13] E. P. Popov, *Mechanic of Materials, 2nd Edition*, Englewood Cliffs, New.Jersey: Prentice-Hall, 1978.

- [14] Ghali, A. and Neville, A., Analisa Struktur Gabungan Metode Klasik dan Matriks. Jakarta: Erlangga, 1977.
- [15] Handayanu, "Pengantar Kuliah Metode Elemen Hingga", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2012.
- [16] Szilard Rudolph, Teori dan Analisis Pelat Metode Klasik dan Numerik, Jakarta: Erlangga, 1989.