



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Kajian Teknis Kekuatan *Car Deck* Pada Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT Akibat Perubahan Muatan Dengan Metode Elemen Hingga

Akbar Huffadz Kalam¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾, Good Rindo¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : huffadzkalam@gmail.com, pujomulyatno2@gmail.com, good.rindo@gmail.com

Abstrak

KMP. Gambolo 500 GT adalah tipe Ro – Ro *Passanger Ship* Dirjen Perhubungan Darat yang beroperasi di Pelabuhan Teluk Bungus dengan rute pelayaran Padang – Mentawai, waktu tempuh delapan sampai sepuluh jam yang mengharuskan kondisi kapal selalu dalam keadaan aman terutama konstruksinya. Geladak kendaraan merupakan suatu geladak pada kapal yang berguna untuk menahan muatan berupa kendaraan. *Car deck* adalah komponen struktur konstruksi yang vital karena perannya yang tidak hanya menahan muatan kendaraan namun menahan geladak yang ada di atasnya. Penelitian tentang kekuatan konstruksi *Car deck* perlu diperhatikan karena awalnya *Car deck* direncanakan untuk mengangkut truk sedang dan sedan. Titik tumpu pembebanan yang digunakan berdasarkan peraturan dari Departemen Perhubungan Direktorat Jendral Perhubungan Darat tahun 2008. Analisa yang digunakan adalah analisa beban statis untuk mengetahui letak tegangan terbesar pada konstruksi *Car deck* berdasarkan beberapa variasi keadaan yaitu saat keadaan air tenang dan kapal oleng 32°. Hasil analisa menggunakan program berbasis Metode Elemen Hingga didapatkan hasil tegangan terbesar pada saat kapal diubah muatannya di kondisi air tenang yaitu sebesar 142 N/mm². Tegangan masih dalam kondisi aman berdasarkan rules BKI yaitu 190 N/mm². Saat kondisi muatan baru SF sebesar 1.33 jadi perubahan muatan dari truk sedang ke truk tronton konstruksi *Car deck* masih dalam kondisi aman.

Kata Kunci: Kekuatan Struktur, *Car deck*, Metode Elemen Hingga

1. PENDAHULUAN

Kekuatan kapal adalah topik yang sangat menarik bagi seorang *naval architect*. Kapal yang dibangun terlalu kuat akan menjadi sangat berat, lamban dan membutuhkan biaya yang lebih besar sedangkan kapal yang dibangun dan dirancang terlalu lemah akan sangat beresiko tinggi mengalami kegagalan struktur karena struktur tidak mampu menahan beban atau *load* yang bervariasi bila kapal berlayar, baik beban dari dalam maupun dari luar kapal, sehingga hal terburuk yang mungkin terjadi adalah tenggelamnya kapal. Dalam perkembangan pembangunan kapal, yang menjadi salah satu faktor utama dalam perencanaan konstruksi kapal adalah *lightweight*. Perhitungan *lightweight* pada

konstruksi dek kapal sangat diperhitungkan mengingat beban yang diterima oleh dek relatif lebih besar.

KM. GAMBOLO adalah kapal type (*Ro – Ro Passanger Ship*) milik Direktorat Jendral Perhubungan Darat yang memiliki rute pelayaran dari Padang ke Mentawai. Kapal ini mampu mengangkut penumpang maksimal adalah 265 orang. Sedangkan untuk kendaraan direncanakan mampu mengangkut 21 kendaraan terdiri dari 12 truk sedang dan 9 sedan.

Geladak kendaraan merupakan suatu dek atau geladak pada kapal yang berguna untuk menampung muatan berupa kendaraan, biasanya terdapat pada kapal Ferry. *Car deck* adalah komponen struktur konstruksi yang vital karena

perannya yang tidak hanya untuk menampung muatan kendaraan namun juga menopang dek yang ada di atasnya. Penelitian tentang kekuatan konstruksi *Car deck* perlu diperhatikan karena awalnya *Car deck* direncanakan untuk mengangkut truk sedang dan sedan.

Dalam perencanaan konstruksi *Car deck* pada dasarnya adalah merencanakan konstruksi yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diijinkan dan bisa diterima oleh konstruksi tersebut.

Berdasarkan latar belakang di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kekuatan konstruksi *Car Deck* Kapal Gambolo 500GT akibat perubahan muatan.
2. Mengetahui *Safety Factor* konstruksi *Car Deck* Kapal Gambolo 500GT akibat perubahan muatan.
- 3.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal Ro Ro

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 di tempatkan pada *Car deck* sedangkan penumpang ditempatkan pada *Passanger deck*. Kapal ini biasanya dibuat landai untuk tempat kendaraan dari bagian haluan (depan) sampai bagian buritan (belakang).

2.2. Car Deck

Car deck atau geladak kendaraan merupakan salah satu geladak yang berada pada kapal, geladak berguna untuk menopang muatan berupa kendaraan, biasanya terdapat pada kapal ferry. *Car deck* atau geladak kendaraan adalah komponen struktur konstruksi yang penting karena perannya yang tidak hanya diperuntukan untuk menampung muatan kendaraan namun juga menopang geladak yang berada di atasnya.

Ada beberapa jenis geladak kendaraan diantaranya yaitu :

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

2.3. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*finite element*) memperluas metode matriks perpindahan ke analisi continuum structural. Continuum elastis suatu pelat diganti dengan struktur pengganti, yang terdiri dari elemen – elemen diskrit yang saing berhubungan hanya di titik – titik simpul.

Hubungan ini bersifat sedemikian rupa sehingga komunitas dari tegangan dan perpindahan yang sebenarnya pada pelat bias di dekati oleh perpindahan titik simpul elemen tersebut.

Ada beberapa jenis analisa yang biasa digunakan dalam metode elemen hingga antara lain :

a. Analisa Linier Statis (*Linear Static Analysis*)

Analisa linier statis merupakan analisa yang dipakai untuk mengetahui kondisi struktur terhadap pembebanan yang konstan dan tidak berubah terhadap waktu, jenis pembebanan pada analisa statis adalah gaya, tekanan dan *steady state temperature*.

b. Analisa Non Linier Statis (*Non Linear Static Analysis*)

Analisa non linier statis merupakan analisa yang dipakai untuk mengetahui kondisi struktur terhadap pembebanan di atas titik luluhnya (*yield point*), maka hubungan antara tegangan dan regangan sudah tidak linier lagi tetap sudah non linier. Modulus *young* cenderung berubah dan menurun selama analisis yang mengakibatkan deformasi permanen (plastis)

c. Analisa Dinamik

Analisa dinamik adalah analisa yang digunakan untuk mengetahui kondisi dari struktur terhadap pembebanan yang berubah terhadap waktu atau frekuensi. Pembebanan yang dapat diterapkan dalam analisa dinamik ini berupa penerapan gaya dinamik, getaran paksa, dan frekuensi terhadap model.

2.4. 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. Secara matematis dapat dituliskan:

$$\sigma = F/A$$

dimana : σ = Tegangan (Pa)

F = Gaya (N)

A = Luas penampang (m²)

2.5. Regangan

Regangan dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang dari suatu benda dengan panjang mulanya, secara matematis dapat dinyatakan :

$$e = \Delta L / L$$

dimana :

e = Regangan

ΔL = Pertambahan panjang (m)

L = Panjang mula – mula (m)

2.6. Hubungan Tegangan Regangan

Hubungan tegangan regangan pada suatu bahan homogeny isotropic, elastis berdasarkan pada hukum Hooke untuk tegangan tiga dimensi. Secara umum hubungan antara tegangan dan regangan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad \text{atau}$$

$$E = \sigma / \varepsilon$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan, dimana ketetapan perbandingan adalah E . Ketetapan E disebut *modulus elastisitas* atau *modulus Young*. Nilai Modulus elastis merupakan sifat pasti dari suatu bahan. Kebanyakan baja memiliki nilai E antara 200 sampai 210×10^9 N/m² atau $E = 210 \times 10^6$ kN/m².

2.5 Faktor Keamanan (Safety Factor)

Faktor keamanan adalah tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban tekan maupun tarik, gaya diperlukan agar bahan dapat menahan beban dari luar hingga akhirnya menjadi pecah yang disebut beban ultimat (*ultimate load*).

Acuan yang dipakai dalam penelitian ini sesuai dengan tegangan ijin dari *class* Badan Klasifikasi Indonesia yaitu 190 N/mm².

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Penelitian

Media dalam melakukan penelitian ini adalah dengan pendekatan *software*, maka dari itu data – data yang harus di siapkan berupa data teknis dan data lapangan dari obyek yang akan dianalisa. Sehingga didapat data sebagai berikut :

a. Ukuran utama :

Loa : 45,50 meter

Lpp : 40,15 meter

Bdeck : 12,00 meter

BwaterLine : 12,00 meter

Draught : 2,15 meter

Dept : 3,20 meter

DWT : 560 Ton

Service speed : 11,00 Knot

b. Tebal Pelat

Seluruh pelat pada kapal memiliki tebal 8 mm.

c. Profil

Profil yang digunakan adalah :

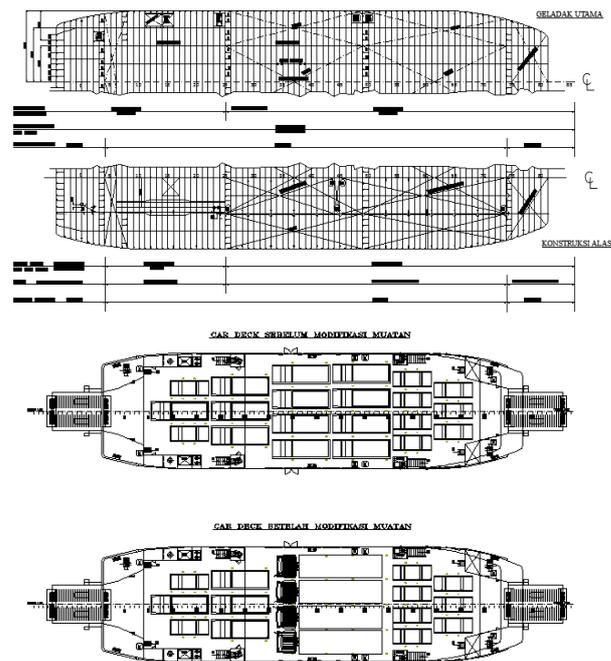
Profil T dengan ukuran 250 X 8 100 X 8 mm

Profil L dengan ukuran 75 x 75 x 7 mm

Jarak profil memanjang = 1,50 m

Jarak profil melintang = 0,50 m

d. Gambar lapangan



3.2 Studi Literatur

Dari data – data yang telah dikumpulkan penulis melakukan kajian terhadap obyek dengan refrensi literature dari buku dan materi di internet yaitu :

- Buku-buku perkuliahan, *rules*, jurnal-jurnal tentang Metode Elemen Hingga dan *Car deck*.
- Tutorial NASTRAN-PATRAN.

3.3 Pendekatan Permodelan

Dalam penelitian ini pengolahan data menggunakan pendekatan permodelan untuk tahap penelitian, pembuatan model *Car Deck* pada kapal motor penumpang GAMBOLO 500GT menggunakan program bantu MSC PATRAN dan analisa struktur menggunakan metode elemen hingga dengan program bantu MSC NASTRAN, dimana tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Pembuatan Car Deck
- Proses Analisa Model

3.4 Penyajian Data Hasil Perhitungan

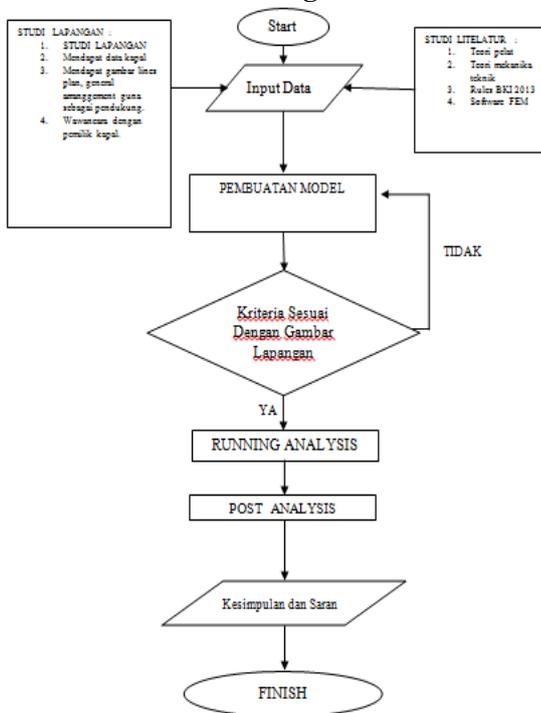
Hasil dari pengolahan data berbentuk gambar model, *display* hasil analisa, dan parameter yang di perlukan dari proses tersebut, selanjutnya dilakukan pengelompokan dalam penyusunan laporan agar lebih mudah.

3.5 Analisa Dan Pembahasan

Kesimpulan dari hasil penelitian yang sudah sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Dari semua hasil pengolahan data yang berbentuk

gambar model, *display* hasil analisa, dan parameter yang diperoleh dan dikelompokkan selanjutnya dilakukan proses analisa dan pembahasan yang meliputi parameter mekanika yang di inginkan seperti tegangan maksimum, deformasi dan safety factor dari bahan.

3.6 Flow chart Metodologi Penelitian



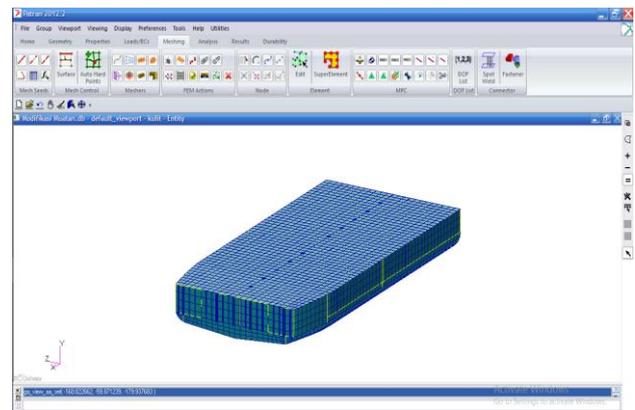
Gambar 3.1. Flow chart metodologi penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pembuatan Model

Kapal Motor Penumpang Gambolo 500 GT dimodelkan berdasarkan metode elemen hingga sehingga menjadi sebuah sistem *multi degree of freedom* dan dibuat pemodelannya dalam program bantu Msc Patran kemudian disimulasikan analisa hasil menggunakan program bantu Msc Nastran yang berbasis metode elemen hingga.

Permodelan dibuat dari depan sekat kamar mesin hingga belakang sekat tubrukan. Dengan pertimbangan bagian yang paling rawan pada kapal adalah bagian ruang muat kapal, sedangkan pertimbangan lainnya adalah mempermudah pembuatan model karena tepat pada posisi *paralel midle body* kapal.



Gambar 4.1. Permodelan Car deck

4.2. Perhitungan Tekanan

Perhitungan besar tekanan eksternal (tekanan hidrostatik air laut) dan tekanan internal (muatan) diperlukan untuk menentukan pembebanan pada permodelan kapal yang telah dibuat.

a. Tekanan Hidrostatik Air Laut

$$P = \rho g h$$

ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

h = kedalaman permukaan (2,15 m)

$$P = 1025 \times 9,8 \times 2,15 = 21596,75 \text{ Pa}$$

b. Tekanan Muatan

1. Berat 1 mobil sedan = 1600 kg

$$F = \text{massa total} \times g \\ = 1600 \times 9,8 = 15680 \text{ N}$$

2. Berat 1 truck medium = 12000 kg

$$F = \text{massa total} \times g \\ = 12000 \times 9,8 = 117600 \text{ N}$$

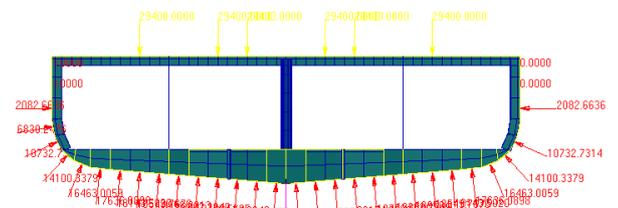
3. Berat 1 truck tronton = 24000 kg

$$F = \text{massa total} \times g \\ = 24000 \times 9,8 = 235200 \text{ N}$$

4.3. Kondisi Pembebanan

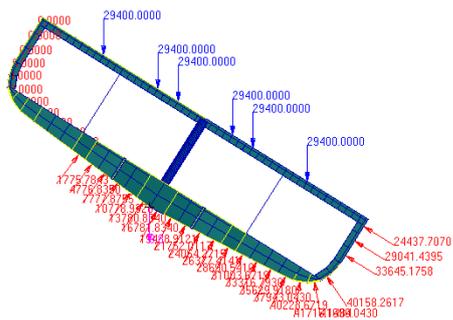
Kondisi pembebanan yang akan dilakukan penulis berjumlah 2 kondisi di tiap keadaan yaitu :

1. Kondisi 1 kapal dalam keadaan air tenang



Gambar 4.2. Kondisi 1

2. Kondisi 2 kapal dalam keadaan keolengan sebesar 32°



Gambar 4.3. Kondisi 2

4.4. Analisa Kekuatan

Skenario Kondisi Pembebanan dan Hasil Pembebanan *Car Deck*

4.4.1 Loading Condition 1

Beban Muatan:

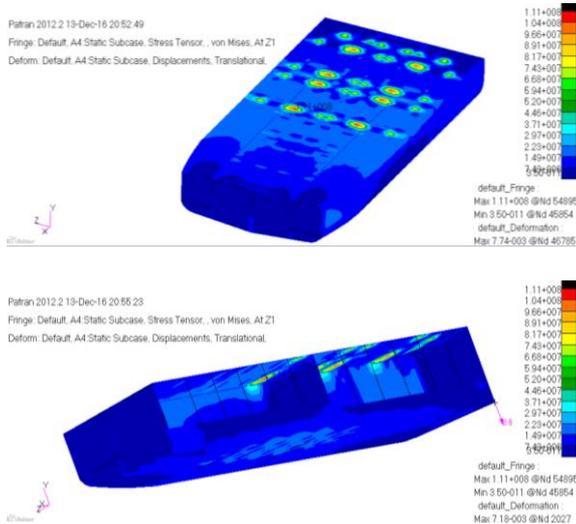
$P = 15680 \text{ pa} \times 7 \text{ mobil sedan} = 109760 \text{ pa}$

$P = 117600 \text{ pa} \times 10 \text{ truk medium} = 1176000 \text{ pa}$

Beban Hidrostatik:

$P = 21596,75 \text{ Pa}$

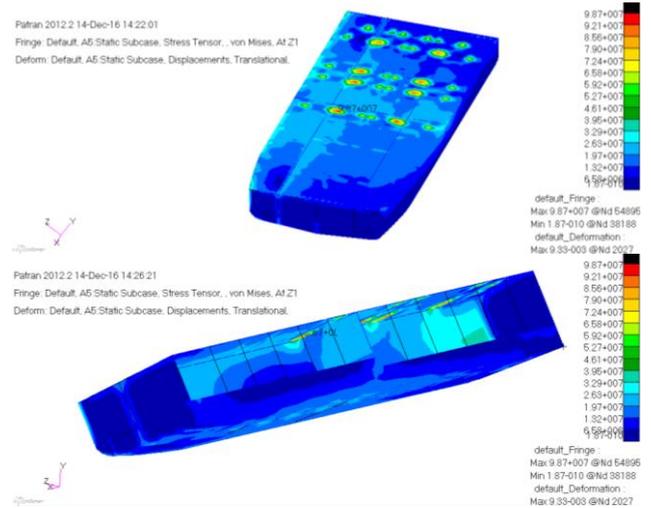
a. Kondisi pada saat air tenang



Gambar 4.4 Hasil *running* tegangan maksimal pada *ring constructon* Keseluruhan LC 1 pada kondisi air tenang

Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $1,11 \times 10^8 \text{ Pa}$ dan nilai deformasi maksimal sebesar $0,774 \text{ cm}$ Tegangan maksimal terjadi di node 54895.

b. Kondisi pada saat oleng maksimal



Gambar 4.3 Hasil *running* tegangan maksimal pada *ring constructon* keseluruhan LC 1 pada kondisi oleng maksimal

Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $9,87 \times 10^7 \text{ Pa}$ dan nilai deformasi maksimal sebesar $0,933 \text{ cm}$ Tegangan maksimal terjadi di node 54895.

4.5.1 Loading Condition 2

Beban Muatan:

$P = 15680 \text{ pa} \times 7 \text{ mobil sedan} = 109760 \text{ pa}$

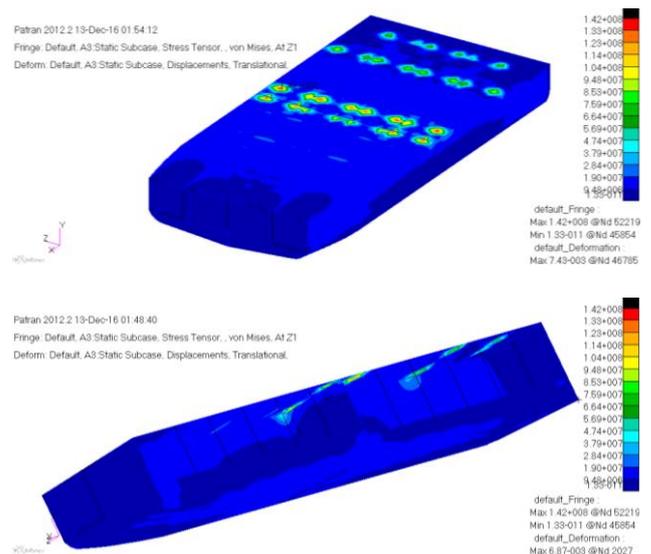
$P = 117600 \text{ pa} \times 2 \text{ truk medium} = 235200 \text{ pa}$

$P = 235200 \text{ pa} \times 4 \text{ truk tronton} = 940800 \text{ pa}$

Beban Hidrostatik:

$P = 21596,75 \text{ Pa}$

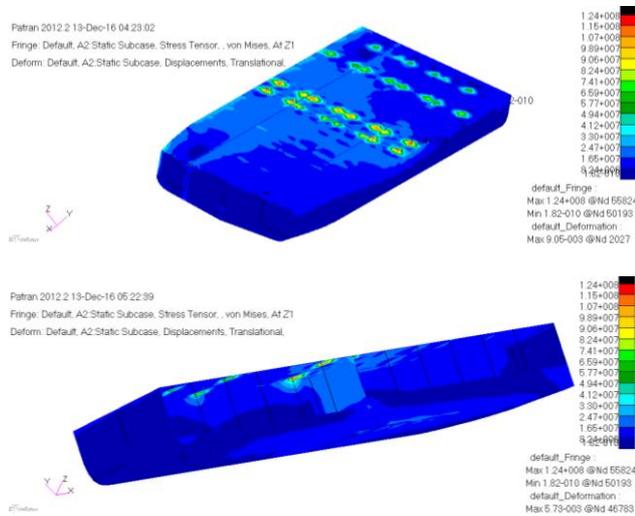
a. Kondisi pada saat air tenang



Gambar 4.4 Hasil *running* tegangan maksimal pada *ring constructon* keseluruhan LC 2 pada kondisi air tenang

Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $1,42 \times 10^8$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,743 cm Tegangan maksimal terjadi di node 52219.

b. Kondisi pada saat oleng maksimal



Gambar 4.5 Hasil *running* tegangan maksimal pada *ring constructon* keseluruhan LC 2 pada kondisi air tenang

Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $1,24 \times 10^8$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,905 cm Tegangan maksimal terjadi di node 55824.

4.5 Rekap Hasil Analisa

a. Rekap hasil analisis pada keseluruhan struktur

Tabel 4.1 Perhitungan Rekap hasil analisis pada keseluruhan struktur

Condition	Tegangan Max (N/mm ²)	Deformasi Max (cm)
Load Condition sebelum modifikasi muatan		
Kondisi Air Tenang Kondisi Oleng Maksimal	111	0,774
Kondisi Air Tenang Kondisi Oleng Maksimal	98,7	0,933
Load Condition setelah modifikasi muatan		
Kondisi Air Tenang Kondisi Oleng Maksimal	142	0,743
Kondisi Air Tenang Kondisi Oleng Maksimal	124	0,903

4.6. Perhitungan Safety Factor dan Tegangan Izin

Faktor keamanan adalah factor 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 Vol II Sec 6, H.2.

Tegangan ijin = $\frac{190}{k}$, dimana k adalah faktor material. (BKI Vol II Sec 2)

$$SF = \frac{\text{Tegangan ijin}}{\text{Tegangan Maksimum}}$$

$$SF = \text{Safety Factor} \geq 1$$

Setelah mengetahui hasil tegangan yang terjadi pada 2 kondisi *Car deck* maka diambil tegangan terbesar untuk menghitung *safety factor*

Tabel 4.2. Perhitungan *safety factor loading condition* menurut tegangan ijin pada keseluruhan struktur.

Condition	Tegangan Max (N/mm ²)	Tegangan Izin (N/mm ²)	Safety Factor	Ket
Load Condition 1				
Kondisi Air Tenang Kondisi Oleng Maksimal	111	190	1,71	Ok
Kondisi Air Tenang Kondisi Oleng Maksimal	98,7	190	1,92	Ok
Load Condition 2				
Kondisi Air Tenang Kondisi Oleng Maksimal	142	190	1,33	Ok
Kondisi Air Tenang Kondisi Oleng Maksimal	124	190	1,53	Ok

Tabel 4.3 Perhitungan *safety factor loading condition* menurut kreteria bahan pada keseluruhan struktur.

Condition	Tegangan Max (N/mm ²)	Tegangan Izin (N/mm ²)	Safety Factor	Ket
Load Condition 1				
Kondisi Air Tenang Kondisi Oleng	111	400	3,6	Ok
Kondisi Air Tenang Kondisi Oleng	98,7	400	4	Ok

Maksimal	Load Condition 2			
Kondisi				
Air	142	400	2,8	Ok
Tenang				
Kondisi				
Olong	124	400	3,22	Ok
Maksimal				

4.7. Validasi Model

Sebelum diaplikasikan pada kondisi yang sebenarnya, model harus divalidasikan dengan perhitungan mekanika teknik agar tidak terjadi kesalahan pada saat permodelan.

a. Perhitungan manual

$$V_{max} = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

P = Gaya

l = Panjang penampang

E = Modulus elastisitas

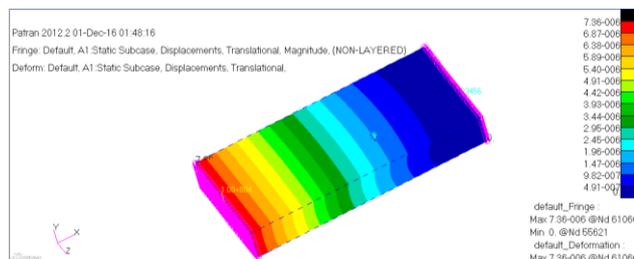
I = Inersia

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I = \frac{12 \times 3,2^3}{12} = 32,77$$

$$V_{max} = \frac{10000 \times 24,5^3}{3 \times 2,1 \times 10^{10} \times 32,77} = 7,48 \times 10^{-6}$$

b. Perhitungan menggunakan software



Gambar 4.6 Validasi menggunakan software

Tabel 4.4 Validasi Model

Perhitungan	Software	Koreksi
$7,48 \times 10^{-6}$	$7,36 \times 10^{-6}$	98,4%

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Tegangan maks *Car Deck* yaitu sebesar $14,4 \text{ N/mm}^2$ pada saat kapal oleng maksimal dengan kondisi muatan baru. Tegangan maksml terjadi di *Car deck* pada pertemuan

antara bulkhead dan plat sisi yang mendapat tekanan dari muatan bangunan atas dan hidrostatik.

2. Tegangan yang dihasilkan masih dalam kondisi aman berdasarkan rules BKI yaitu 190 N/mm^2 . Saat kapal oleng dengan kondisi muatan baru sf sebesar 13,19 jadi penggantian muatan dari truk sedang ke truk tronton konstruksi *Car deck* K.M GAMBOLO masih dalam kondisi aman

5.2. Saran

Hasil penelitian yang dilakukan penulis masih banyak yang dapat dilanjutkan. Sehingga saran penulis untuk penelitian lebih lanjut (*future research*) antara lain :

1. Dari hasil *safety factor* yang di dapat dari analisa cukup aman maka untuk variasi muatan yang lebih besar dan lebih banyak bisa dilakukan untuk memaksimalkan proses pengangkutan dengan kapal ini. Diharapkan pada penelitian berikutnya bisa dilakukan dengan variasi muatan yang lebih besar dan banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero.2014. "Rules for Hull Volume II". Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- [2] Dokkum, van Klaas. 2003. "Ship Knowledge – A Modern Encyclopedia", Dokmar, The Netherlands.
- [3] Djaya,I K. 2008. *Teknik Konstruksi Kapal Baja 1*. Jakarta : Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- [4] Doni Setyawan,dkk. 1999. *Kekuatan Struktur Kapal*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- [5] Zakki, Ahmad Fauzan., 2014, *Metode Elemen Hingga*, Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro, Semarang
- [6] Junbo Jia, Anders Ulfvarson. 2004. A Parametric Study For Structural Behavior Of a Lightweight Deck, Division of Marine Structure, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chalmers University of Technology, 412 96 Gothenburg, Sweden
- [7] Popov, E. P., 1978, *Mechanics of Material, 2nd edition*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- [8] Panduan Batasan Maksimum Perhitungan JBI dan JBKI untuk Mobil

Barang, Kendaraan Khusus, Kendaraan
Penarik berikut Kereta Tempelan/ Kereta
Gandengan, Departemen Perhubungan
Direktorat Jendral Perhubungan Darat