

ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI CAR DECK PADA KAPAL “KAPAL ROPAX 5000GT” DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Wahyu Dwi Yunanto **), Imam Pujo Mulyatno *), Andi Trimulyono*)

*) Staff Pengajar S1 Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro

**) Mahasiswa S1 Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro

Abstrak

Kapal merupakan sebuah sistem rekayasa bergerak buatan manusia yang terbesar. Kompleksitasnya sebagian besar disebabkan oleh tuntutan *self – supporting capability* di lingkungan laut yang tidak *readily habitable*. Salah satu subsistem penyusun sistem rekayasa tersebut adalah konstruksinya. Dalam sebuah sistem konstruksi, kekuatan merupakan struktur terpenting dalam sebuah kapal sebab fungsinya adalah untuk menjamin keselamatan daripada awak kapal, penumpang, dan muatannya. Kapal ROPAX 5000GT adalah type Ro – RoPassanger Ship milik DIREKTORAT PERHUBUNGAN DARAT yang beroperasi di Selat Sunda dengan rute pelayaran Pelabuhan Merak – Bakauheni. Dalam rute pelayaran tersebut yang ditempuh dalam waktu kurang lebih dua setengah jam, hal ini mengharuskan kondisi kapal selalu dalam kondisi aman terutama dalam hal konstruksinya sebab dalam perencanaan sebuah konstruksi kapal, pada dasarnya adalah merencanakan konstruksi yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diijinkan dan bisa diterima oleh konstruksi tersebut. Penelitian tentang konstruksi kekuatan *car deck* kapal . Kapal ROPAX 5000GT perlu diperhatikan dan dilakukan, dimana tegangan yang diakibatkan oleh beban yang mengenainya tidak boleh melebihi batas maksimum σ_{yield} bahan dan σ_{ijin} berdasarkan rules dari kelas, adapun acuan rules yang dipakai dalam penelitian ini adalah berdasarkan rules Biro Klasifikasi Indonesia. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan analisa *local stress* yang terjadi pada *car deck* kapal . Kapal ROPAX 5000GT dengan bantuan program numerik *Ansys*. Analisa yang digunakan adalah analisa beban statis untuk mengetahui karakteristik dan letak tegangan terbesar dari struktur konstruksi *car deck* berdasarkan tiga variasi kondisi keadaan kapal menggunakan metode elemen hingga. Hasil analisa menggunakan program numerik *Ansys* didapatkan hasil maximum stress pada sistem konstruksi *car deck* geladak kendaraan 2 sebesar 225,39 N/mm² di lokasi node 8087 pada saat kondisi *sagging*. Kondisi ini masih tetap aman karena nilai tegangan maksimum yang terjadi masih dibawah σ_{yield} dan σ_{ijin} berdasarkan rules BKI, serta memiliki faktor keamanan 1,03.

Kata kunci : Struktur Car Deck, Metode elemen hingga

I. PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kekuatan kapal adalah topik yang sangat menarik bagi seorang *naval architect* dan insan-insan perkapalan lainnya. 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 (*car deck*) sangat diperhitungkan mengingat beban yang diterima oleh dek relatif lebih besar.

Kapal Penyebrangan Ropax 5000GT adalah type Ro – Ro Passanger Ship milik Direktorat Jendral Perhubungan Darat yang beroperasi di Selat Sunda dengan rute pelayaran Pelabuhan Merak – Bakauheni. Dalam rute pelayaran tersebut yang ditempuh dalam waktu kurang lebih dua setengah jam, hal ini mengharuskan kondisi kapal selalu dalam kondisi aman terutama dalam hal konstruksinya sebab dalam perencanaan sebuah konstruksi kapal, pada dasarnya adalah merencanakan konstruksi yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diijinkan dan bisa diterima oleh konstruksi tersebut.

I.2 Perumusan Masalah

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang maka diambil beberapa rumusan masalah pada Tugas Akhir ini sebagai berikut,

- 1) Bagaimana kekuatan konstruksi tiga tingkat *car deck* dengan kondisi pembebanan yang direncanakan ?
- 2) Apakah konstruksi tiga tingkat *car deck* dalam kondisi aman/kondisi tegangan yang diijinkan sesuai dengan rules BKI(Indonesia) dan setelah dilakukan analisa?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah Melakukan Analisa Kekuatan Kontruksi *Car Deck* “Kapal Ropax 5000 GT”, adalah :

- 1) Mengetahui kekuatan konstruksi *car deck* Kapal Ropax 5000GT.
- 2) Mengetahui Karakteristik setiap *car deck*.

II. Tujuan Pustaka

II.1 Kapal ROPAX (*Roro Passenger*)

Pengertian kapal Ropax adalah Kapal RORO dibangun untuk angkutan transportasi kendaraan bersama dengan akomodasi penumpang. Secara teknis ini meliputi semua feri dengan kedua pintu masuk roll-on/roll-off dan kapasitas penumpang. Kapal Ropax 5000 GT merupakan Kapal Ro-ro Passanger milik DIREKTORAT JENDRAL PERHUBUNGAN DARAT dibangun pada Tahun 2012. Kapal ini berbendera INDONESIA, dan berkelas Biro Klasifikasi Indonesia. Kapal ini akan di fungsikan untuk melakukan penyebrangan Merak – Bakauheni.

II.2 *Car Deck* (Geladak kendaraan)

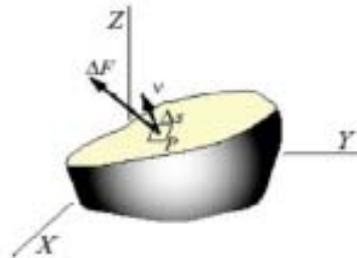
Geladak kendaraan merupakan suatu dek atau geladak pada kapal yang berguna untuk menampung muatan berupa kendaraan, biasanya terdapat pada kapal ferry. *Car deck* adalah komponen struktur konstruksi yang vital karena perannya yang tidak hanya untuk menampung muatan kendaraan namun juga menopang dek yang ada di atasnya.

Ada beberapa jenis *car deck* diantaranya adalah :

- Geladak kendaraan dengan sistem terpadu
- Geladak kendaraan tanpa sistem terpadu

II.3 Tegangan (*Stress*)

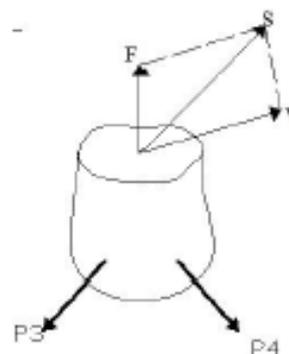
Pada umumnya tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak berhingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam – macam besaran dan arah.



Gambar 2.1 Pengirisan sebuah benda

Pada umumnya, intensitas gaya yang bekerja pada luasan kecil tak berhingga pada suatu potongan berubah – ubah dari suatu titik ke titik yang lain, umumnya intensitas gaya ini berarah miring pada bidang potongan.

Penguraian intensitas ini pada luas kecil tak berhingga diperlihatkan pada gambar 2.2 Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (normal stress) pada sebuah titik.



Gambar 2.2 Komponen normal dan geser dari tegangan geser.

II.5 Metode Elemen Hingga

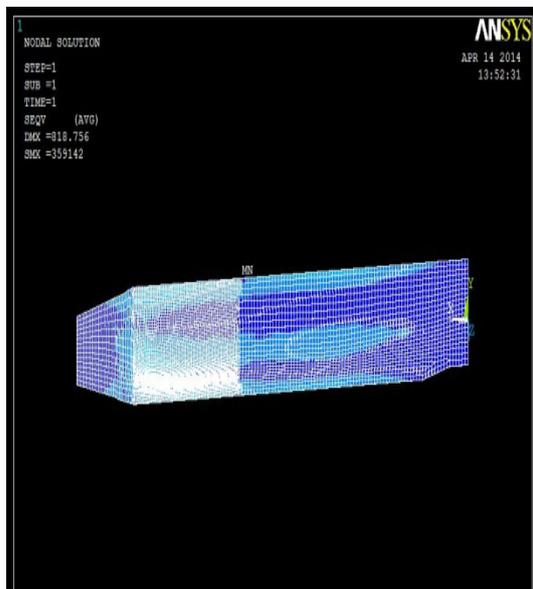
Metode elemen berhingga (finite element) bisa dipandang sebagai perluasan dari metode perpindahan (untuk struktur rangka) ke masalah kontinum berdimensi dua dan tiga seperti pelat, struktur selaput (shell) dan benda pejal. Dalam metode ini, kontinum sebenarnya diganti dengan sebuah struktur ideal ekuivalen yang terdiri dari elemen-elemen unik (discrete element). Elemen ini disebut elemen berhingga dan dihubungkan bersamanya di sejumlah titik simpul.

II.6 Safety Factor

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban 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*).

II.7 Permodelan ANSYS

ANSYS adalah program bantu dalam analisa metode elemen hingga dimana salah satu- satu *software analysis process* yang digunakan yang dijelaskan pada bagian selanjutnya. Proses analisa metode elemen hingga (*finite element analysis*) dari program bantu ANSYS ini.



Gambar 2.3 Permodelan

III. METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Studi Lapangan

Dalam penelitian Tugas Akhir “ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI *CAR DECK* PADA “KAPAL ROPAX 5000GT” perlu dilakukan studi lapangan yang bertujuan untuk melengkapi kebutuhan data untuk pengerjaan Tugas Akhir ini, adapun studi lapangan tersebut antara lain.

- 1) Pengambilan data Penelitian Studi lapangan dilakukan secara langsung dan wawancara.
- 2) Metode yang dilaksanakan adalah wawancara dan observasi lapangan.
- 3) Waktu dan tempat penelitian di KEMENTERIAN PERHUBUNGAN RI dan PT. DUMAS SURABAYA

III.2 Studi Litelatur

Mempelajari tentang sistematika perhitungan pembebanan dan software yang akan digunakan sesuai dengan kebutuhan.

III.3 Pembuatan Model

Dari data awal yang telah diambil, kemudian dilakukan pembuatan model dengan menggunakan program ANSYS :

- *Problem Specifications*
- *Define Materials*
- *Problem Descriptions*
- *Build Geometry*
- *Generate Mesh*
- *Attribute Mesh to model*
- *Obtains Solutions*
- *Review Result*

III.4 Penarikan Kesimpulan

Dalam tahap ini dilakukan pengambilan kesimpulan dari seluruh tahapan di atas sesuai dengan tujuan awal yang ditetapkan pada penelitian serta saran mengenai pengembangan penelitian lanjutan.

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Definisi Car Deck

Car Deck merupakan suatu dek atau geladak pada kapal yang berguna untuk menampung muatan berupa kendaraan, biasanya terdapat pada kapal ferry.



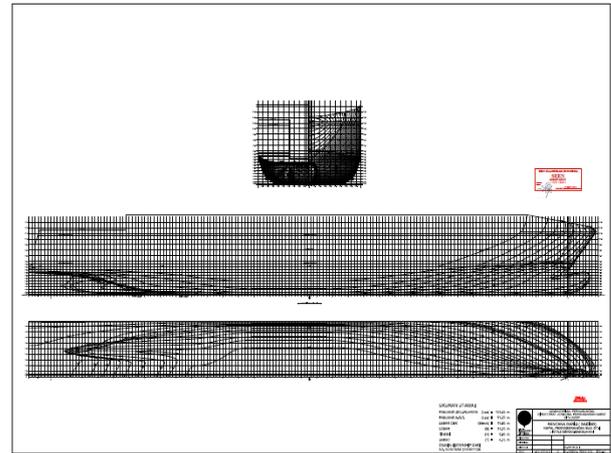
Gambar 4.1 Salah satu *Car Deck* KAPAL ROPAX 5000GT

IV.2 KAPAL ROPAX 5000GT

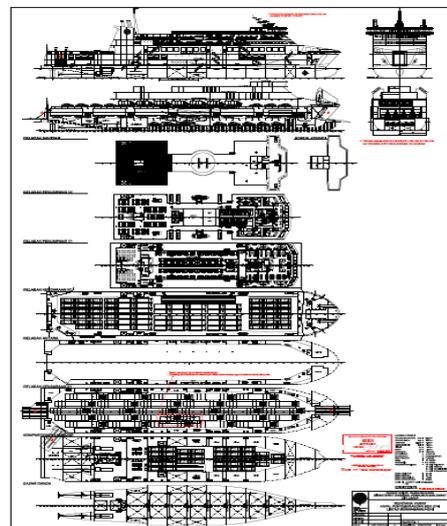
Kapal Ropax 5000 GT merupakan Kapal Roro Passenger milik DIREKTORAT JENDRAL PERHUBUNGAN DARAT dibangun pada Tahun 2012. Kapal ini berbendera INDONESIA, dan berkelas Biro Klasifikasi Indonesia. Kapal ini akan di fungsikan untuk melakukan penyebrangan Merak – Bakauheni.

Kapal ini mempunyai ukuran utama (*Principal dimensions*) sebagai berikut :

Loa)	: 109,40 meter
(Lpp)	: 99,20 meter
(BDeck)	: 19,60 meter
(BWaterLine)	: 18,94 meter
Draught design	: 4,10 meter
Dept	: 5,60 meter
DWT	: 9833,63Ton
Vs	: 16,00 KN
Cb	: 0,55



Gambar 4.2 *Lines plan* KAPAL ROPAX 5000GT



Gambar 4.3 Rancangan Umum KAPAL ROPAX 5000GT

IV.3 Perhitungan beban

Beban kendaraan dihasilkan dari muatan kendaraan yang di distribusikan sesuai dengan rancangan umum penataan kendaraan pada masing-masing car deck.

$$\begin{aligned} (W_{sdn}) &= \text{berat Sedan} \times \text{gravitasi} \\ &= 1.8 \text{ ton} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 17.65 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (W_{tm}) &= \text{TrukMedium} \times \text{gravitasi} \\ &= 10 \text{ ton} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 98,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (W_{ttn}) &= \text{Tronton} \times \text{gravitasi} \\ &= 30 \text{ ton} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 294,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (W_{ttr}) &= \text{Trailer} \times \text{gravitasi} \\ &= 42 \text{ ton} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 412,02 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban persatuan luas masing masing kendaraan :

$$P \text{ sedan} = W_{sdn} / L_{sdan}$$

$$= 17,65 / 8,6$$

$$= 2,04 \text{ KN/mm}^2$$

$$P \text{ truk} = W_{tm} / L_{tm}$$

$$= 98,1 / 12$$

$$= 8,16 \text{ KN/mm}^2$$

$$P_{trailer} = W_{tr} / L_{tr}$$

$$= 412,02 / 33$$

$$= 12,48 \text{ KN/mm}^2$$

$$P_{tronton} = W_{tn} / L_{tn}$$

$$= 294,3 / 26,4$$

$$= 11,21 \text{ KN/mm}^2$$

IV.4 Sekenario Pembebanan dan Analisa menggunakan Ansys

Variasi kondisi pembebanan antara lain :

- Kondisi *car deck* dengan muatan
- Kondisi hogging
- Kondisi saggng

Geladak kendaraan 1

Pada kondisi pembebanan saat memuat muatan di asumsikan menerima beban dari geladak utama, geladak akomodasi, geladak kendaraan 2, dan muatan kendaraan. Sesuai perhitungan pembebanan Biro Klasifikasi Indonesia, sebagai berikut :

Beban Geladak Utama

$$\text{Buritan } P_D : 15,022 \text{ Kn/m}^2$$

$$\text{Tengah } P_D : 16,874 \text{ Kn/m}^2$$

Beban Geladak Akomodasi

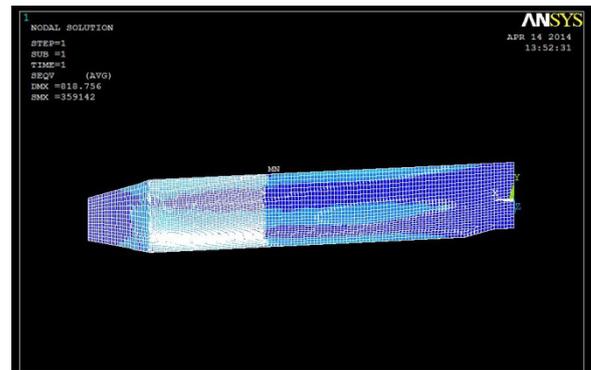
$$\text{Buritan } P : 12,10 \text{ Kn/m}^2$$

$$\text{Tengah } P : 15,91 \text{ Kn/m}^2$$

Beban kendaraan

$$\text{Truk trailer} : 12,47 \text{ Kn/m}^2$$

$$\text{Truk tronton} : 11,21 \text{ Kn/m}^2$$



Gambar 4.4 Geladak Kendaraan 1

Geladak kendaraan 2

Pada kondisi pembebanan saat memuat muatan di asumsikan menerima beban dari geladak utama, geladak akomodasi, dan muatan kendaraan. Sesuai perhitungan pembebanan Biro Klasifikasi Indonesia, sebagai berikut :

Beban Geladak Utama

$$\text{Buritan } P_D : 7,670 \text{ Kn/m}^2$$

$$\text{Tengah } P_D : 8,437 \text{ Kn/m}^2$$

Beban Geladak Akomodasi

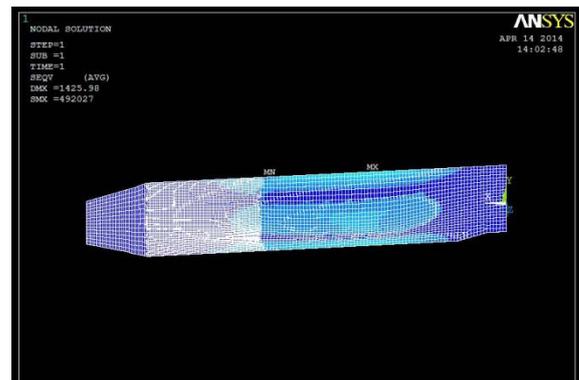
$$\text{Buritan } P : 4,750 \text{ Kn/m}^2$$

$$\text{Tengah } P : 8,568 \text{ Kn/m}^2$$

Beban kendaraan

$$\text{Truk medium} : 8,16 \text{ Kn/m}^2$$

$$\text{Sedan} : 2,04 \text{ Kn/m}^2$$



Gambar 4.5 Geladak Kendaraan 2

Geladak kendaraan 2

Pada kondisi pembebanan saat memuat muatan di asumsikan menerima beban dari geladak utama, geladak akomodasi, dan muatan kendaraan, geladak kendaraan 1, dan geladak kendaraan 2. Sesuai perhitungan pembebanan Biro Klasifikasi Indonesia, sebagai berikut :

Beban Geladak Utama

Buritan P_D : **22,67** Kn/m²

Tengah P_D : **23,43** Kn/m²

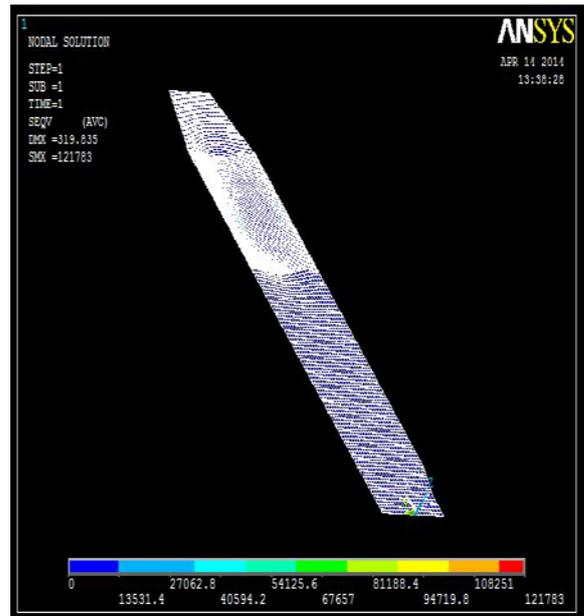
Beban Geladak Akomodasi

Buritan P : **19,70** Kn/m²

Tengah P : **23,56** Kn/m²

Beban kendaraan

Sedan : **2,04** Kn/m²



Gambar4.6 Geladak kompartemen lambung

Tabel 4.1 Perhitungan safety factor menurut kriteria bahan Geladak kendaraan 1

Kondisi pembebanan	Node	Maximum stress	Tegangan ijin	Safety factor	Keterangan
Kondisi muatan penuh	9788	83,14N/mm2	235 N /mm2	2,82	Memenuhi
kondisi hogging	803	82,91N/mm2	235 N /mm2	2,83	Memenuhi
kondisi sagging	8087	214,47N/mm2	235 N /mm2	1,09	Memenuhi

Tabel 4.2 Perhitungan safety factor menurut kriteria bahan Geladak kendaraan 2

Kondisi pembebanan	Node	Maximum stress	Tegangan ijin	Safety factor	Keterangan
Kondisi muatan penuh	916	52,96N/mm2	235 N /mm2	4,51	Memenuhi
kondisi hogging	803	111,4N/mm2	235 N /mm2	2,11	Memenuhi
kondisi sagging	8087	225,391N/mm2	235 N /mm2	1,04	Memenuhi

Tabel 4.3 Perhitungan safety factor menurut kriteria bahan Geladak kendaraan 3

Kondisi pembebanan	Node	Maximum stress	Tegangan ijin	Safety factor	Keterangan
Kondisi muatan penuh	7840	32,40 N/mm2	235 N /mm2	7,34	Memenuhi
kondisi hogging	803	53,49N/mm2	235 N /mm2	4,43	Memenuhi
kondisi sagging	8087	121,3N/mm2	235 N /mm2	1,94	Memenuhi

catatan :

- *Modulus elastisitas* = 200 Mpa
 - *Ultimate stress* = 400 Mpa
 - *Yield* = 235 Mpa
- Kriteria baja grade A-BKI

Tabel 4.4 Perhitungan safety factor menurut kriteria bahan Geladak kendaraan 1

Kondisi pembebanan	Node	Maximum stress	Tegangan ijin	Safety factor	Keterangan
Kondisi muatan penuh	9788	83,14N/mm ²	233,54 N /mm ²	2,8	Memenuhi
kondisi hogging	803	82,91N/mm ²	233,54 N /mm ²	2,84	Memenuhi
kondisi sagging	8087	214,47N/mm ²	233,54 N /mm ²	1.08	Memenuhi

Tabel 4.5 Perhitungan safety factor menurut kriteria bahan Geladak kendaraan 2

Kondisi pembebanan	Node	Maximum stress	Tegangan ijin	Safety factor	Keterangan
Kondisi muatan penuh	916	52,96N/mm ²	233,54 N /mm ²	1,73	Memenuhi
kondisi hogging	803	111,4N/mm ²	233,54 N /mm ²	2,09	Memenuhi
kondisi sagging	8087	225,39N/mm ²	233,54 N /mm ²	1,03	Memenuhi

Tabel 4.6 Perhitungan safety factor menurut kriteria bahan Geladak kendaraan 3

Kondisi pembebanan	Node	Maximum stress	Tegangan ijin	Safety factor	Keterangan
Kondisi muatan penuh	7840	32,40 N/mm ²	233,54 N /mm ²	7,2	Memenuhi
kondisi hogging	803	53,49N/mm ²	233,54 N /mm ²	4,3	Memenuhi
kondisi sagging	8087	121,3N/mm ²	233,54 N /mm ²	1,92	Memenuhi

Catatan :

- Tegangan ijin menurut BKI = 233,54 N/mm²

VI.5 Validasi

Validasi adalah untuk menunjukkan keakuratan dalam perencanaan dan perhitungan dari suatu permodelan.

Cara yang ditempuh untuk melakukan validasi adalah dengan melakukan perbandingan hasil perhitungan antara perhitungan *software* dengan perhitungan manual (sesuai dengan rumus).

VI.5.1 Validasi Model

Validasi dilakukan setelah pemodelan selesai. Tujuan dari validasi adalah mengoreksi elemen – elemen model yang dibuat. Ada dua tahapan validasi yaitu:

1. Validasi pada saat belum dianalisis (Preprocessor Check)
2. Validasi pada saat sudah dianalisis (Postprocessor Check)

$$\sigma_{maks} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_{xy})^2 + (\sigma_{xy} - \sigma_y)^2}{2}}$$

σ_{maks} = Tegangan maksimal

σ_x = Tegangan Normal x

σ_y = Tegangan Normal y

σ_{xy} = Tegangan Normal sheer xy

VI.5.2 Validasi Perhitungan

Validasi dari hasil perhitungan merupakan suatu hal yang penting karena hal ini akan menunjukkan keakuratan perhitungan dari suatu pemodelan.

Dari hasil validasi yang yang didapat, menghasilkan 93, 56 % dan mendekati hasil output software, berarti hasil anantara software dan perhitungan adalah mendekai kebenarannya (valid).

V. Kesimpulan dan saran

V.1 Kesimpulan

Dari analisa struktur konstruksi geladak kendaraan KAPAL ROPAX 5000GT dengan menggunakan program Ansys dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan dan software maka tegangan terbesar terjadi di car deck ke dua dengan kondisi sagging pada node 8087 dengan nilai yakni 225, 39 N/mm². Dan tegangan terkecil terjadi di car deck ketiga dengan kondisi muatan penuh pada node 7840 dengan nilai yakni 32,40 N/mm². Kedua Nilai yang di hasilkan ini masih di bawah tegangan ijin dan tegangan kriteria bahan menurut Biro Klasifikasi Indonesia yakni 235 N/mm².
2. Safety Factor pada kondisi pembebanan terberat yang terjadi pada node 8087 (Car Deck kedua kondisi sagging) adalah 1,04 dimana masih sesuai dengan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (SF>1).

V.2 Saran

1. Untuk mencapai ketelitian yang maksimal dalam analisa dengan menggunakan program ANSYS, pemodelan dilakukan dengan membuat geometri yang baik. Kesalahan dalam pemodelan akan mempengaruhi keakuratan perhitungan
2. Sedapat mungkin pemodelan dilakukan seperti kondisi sesungguhnya, sehingga pemberian *load* sesuai pada tempatnya. Dengan demikian hasil yang akan didapat mendekati kondisi sesungguhnya.
3. Gunakan perangkat komputer yang mumpuni sehingga program ANSYS dapat digunakan secara maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

ANSYS, Inc.(2005) *Structural Analysis Guide*, ANSYS Release 11.0 Documentation.

ANSYS, Inc.(2005)*Ansys, Inc. Theory Reference*, ANSYS Release 11.0 Documentation.

Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. 2006. “*Rules for The Classification and Contruction of Sea Going Stell Ship Volume II: Rules for Hull edition 2006*”. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.

Hardiansyah, Budi.(2010). “*Analisa Kekuatan Konstruksi Side Shell Pada 18.500 DWT Dry Cargo Vessel Dengan Menggunakan Metode Program Komputer Yang Berbasis Metode Elemen Hingga*”, Universitas Diponegoro, Semarang.

Logan. L. Daryl. *A first Course in the Fenite Element Method*, University of Wisconsin, Platteville.

Pratama, Anggriawan.(2011). “*Analisa Kekuatan Konstruksi Car Deck Pada Kapal Dharma Ferry 3 Dengan Metode Elemen Hingga*”, Universitas Diponegoro, Semarang.
Sonief.A.As’ad. (2003), “*Diktat Metode Elemen Hingga* “. Universitas Brawijaya, Malang.