



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Kajian Teknis Kekuatan *Ring Construction* Akibat Penambahan *Inner Shell* Pada *Cargo Wing Tank Chemical Vessel 18944 DWT* Konversi Dari *Single Hull* Ke *Double Hull* Dengan Metode Elemen Hingga

Agung Surana Dwi Yoga<sup>1)</sup>, Imam Pujo Mulyatno<sup>1)</sup>, Hartono Yudo<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: [agungyoga007@gmail.com](mailto:agungyoga007@gmail.com), [pujomulyatno2@gmail.com](mailto:pujomulyatno2@gmail.com)

### Abstrak

Peraturan MARPOL Annex I Regulation 19 mewajibkan kapal *oil tanker* berkonstruksi *single hull* dan *single bottom* tidak boleh beroperasi di perairan sejak 5 April 2005. Tujuan dari tugas akhir ini adalah menganalisa dan membandingkan kekuatan kapal tanker dengan konstruksi *single hull* dan yang sudah terkonversi menjadi *double hull* sebagai konfigurasi *ring construction*. Konversi konstruksi kapal tanker dilakukan dengan metode penambahan *inner shell* pada *cargo wing tank* berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI 2013). Tahapan produksi dimulai dengan pembongkaran geladak, pemotongan konstruksi, pembangunan *inner shell*, dan pemasangan kembali panel geladak. Pada konversi ini, dilakukan uji *sagging*, *hogging*, dan air tenang berdasarkan *rules* Biro Klasifikasi Indonesia (BKI 2013). Dari hasil modifikasi, dihasilkan penambahan berat baja tiap kompartemen. Untuk kompartemen *COT (Center Cargo Oil Tank)* No. 7 dan *COT (Cargo Oil Tank)* No. 5 dengan berat baja 29626,19 Ton, kemudian setelah hasil modifikasi berat baja bertambah sebesar 32417,48 Ton. Nilai pembebanan yang diinputkan *M<sub>wv-sagging</sub>* : -409426 kN, *M<sub>wv-hogging</sub>* : -390882,8 kN, *M<sub>sw-still water</sub>* : -313068,5 kN. Dari hasil analisa di dapat nilai tegangan pada kapal konstruksi *single hull* sebesar 87,7 Mpa pada kondisi *sagging*, 83,7 Mpa pada kondisi *hogging*, dan 39,8 Mpa pada kondisi *still water*. Kemudian pada saat kapal sudah terkonversi ke *double hull* didapat nilai tegangan sebesar 85,6 Mpa pada kondisi *sagging*, 79,5 Mpa pada kondisi *hogging*, dan 39,6 Mpa pada kondisi *still water*. Kemudian dari nilai deformasi yang dihasilkan dari konversi ke *double hull* lebih kecil dari sebelum konversi. Maka kapal *chemical carrier* MT Indradi dapat beroperasi untuk beberapa tahun kemudian.

Kata Kunci : *Ansys Mechanical APDL*, Konversi *single hull* ke *double hull*, Metode Elemen Hingga

### 1. PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

MT Prestige berkapasitas 85.000 m<sup>3</sup> minyak telah terlampaui tua dan lelah hingga akhirnya pengabdianya selama 25 tahun sebagai kapal pengangkut minyak berakhir pada 13 November 2002 setelah dihempas badai di teluk Biskaya, Spanyol. Kapal tanker dengan muatan minyak tenggelam dan memuntahkan sebagian besar minyak mentah muatannya, mencemari pantai Spanyol. Tenggelamnya kapal tanker MT Prestige merupakan reputasi buruk atas pencemaran

disepanjang pantai Spanyol dan sebagian besar perairan laut Eropa.

Perlu kita ingat bahwa sejak 1998, pada *bulk carrier* dan *oil tanker*, telah dikenal adanya *Enhance Survey Programme (ESP)* yang diadakan oleh IACS dan dilaksanakan oleh badan klasifikasi sebagai tambahan pemeriksaan struktur kapal (*bulk carrier* dan *oil tanker*) secara mendetail pada *Special Survey*, *Intermediate Survey*, maupun *Annual Survey*. Jadi pada hakikatnya CAS merupakan suatu kompromi agar supaya tanker-tanker *single hull*

usia belasan taun (teenage), masih dapat beroperasi secara internasional, sampai tanker berusia 20, 23, atau 25 tahun (batas maksimum), asal tidak melewati tahun 2015.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan kekuatan pada struktur kapal tanker single hull dan kekuatan struktur kapal tanker ketika mengalami konversi ke double hull atau penambahan inner shell pada cargo wing tank. Selain itu tujuan lain adalah untuk mengetahui perbandingan defleksi atau perubahan bentuk ketika struktur mengalami pembebanan.

### 1.2. Perumusan masalah

Berdasarkan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai karakteristik tegangan yang terjadi pada konstruksi kapal MT. Indradi ketika hull sudah ditambahkan inner shell untuk dikonversikan ke double hull.
2. Berapa nilai tegangan maksimum yang terjadi pada konstruksi kapal MT. Indradi ketika hull masih *single hull* dan di konversikan ke *double hull*.
3. Letak komponen konstruksi baru *Inner Shell* di dalam *wing cargo tank*.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah dan pembatasan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan nilai karakteristik tegangan yang terjadi pada konstruksi kapal MT. Indradi 13944 DWT penambahan *inner shell* untuk dikonversikan ke *double hull*.
2. Mendapatkan nilai tegangan maksimum yang terjadi pada konstruksi kapal MT. Indradi ketika masih *single hull* dan di konversikan ke *double hull*.
3. Mendapatkan data mengenai letak komponen – komponen konstruksi baru *Inner Shell* di dalam *cargo wing tank*.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

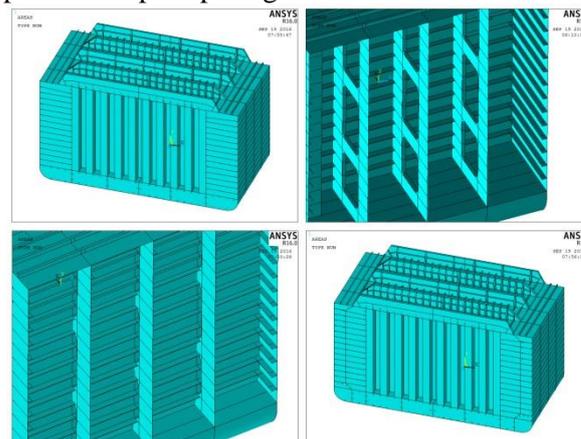
### 2.1. Definisi Umum Kapal Tanker

Untuk mendistribusikan hasil pengeboran minyak dari bangunan lepas pantai yang jaraknya ratusan mil dari daratan diperlukan sebuah alat transportasi laut. Kapal tanker merupakan alat transportasi yang dispesifikasikan untuk mengangkut muatan minyak, tidak hanya dari tempat pengeboran menuju darat, namun tanker juga digunakan untuk sarana angkut perdagangan minyak antar pelabuhan atau antar negara. Kapal tanker memiliki karakteristik khusus yang berbeda dengan kapal lainnya.

### 2.2. Desain dan Perancangan Konversi

Desain dan perencanaan dilakukan dengan mengacu pada peraturan BKI. Pada gambar 2.1 menunjukkan bahwa untuk konstruksi yang masih dipertahankan pada bagian sekat *cargo wing tank*, sedangkan untuk *inner shell* adalah konstruksi yang direncanakan akan dipotong atau dibongkar.

Proses pembuatan blok *midship* dilakukan dengan bantuan *software Ansys Mechanical APDL 2016*. Proses pembangunan *double hull* atau *side shell* dilakukan sesuai skema tahapan produksi seperti pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Proses konversi *single hull* ke *double hull* (Geometri di *software ANSYS*)

### 2.3. Ring Construction

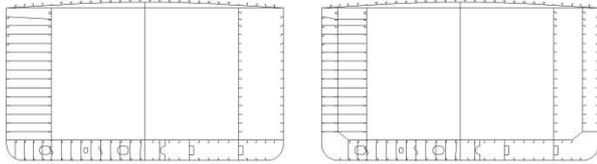
Pada umumnya *ring construction* adalah suatu kesatuan antar konstruksi yang dibentuk oleh berbagai macam profil dalam sebuah kapal yang membentuk sebuah *ring*.

Bagian bagian dalam ring construction untuk konstruksi memanjang :

- Geladak (Deck)
  - Profil/penegar yang mendukung kekuatan memanjang
    - a. Pelintang geladak
  - Profil/penegar yang mendukung kekuatan memanjang
    - a. Pembujur geladak
    - b. Penumpu geladak (deck girder)
- Lambung (Side)
  - Profil/penegar yang mendukung kekuatan memanjang
    - a. Pelintang sisi (transverse web)
  - Profil/penegar yang mendukung kekuatan memanjang
    - a. Pembujur sisi
    - b. Senta sisi
- Dasar (Bottom)
  - Profil/penegar yang mendukung kekuatan memanjang

- a. Pelintang alas (bottom tranverse)
- Profil/penegar yang mendukung kekuatan memanjang
  - a. Pembujur alas
  - b. Penumpu tengah
  - c. Penumpu samping

Berikut adalah contoh ring construction *single hull* dan *double hull* pada kapal MT Indradi:



Gambar 2.2 Ring Construction yang direncanakan

#### 2.4. Tegangan Langsung Primer

Perhitungan tegangan langsung primer pada struktur kapal dapat didekati secara cukup realistis dengan konsep balok ekuivalen. Secara intuitif telah memandang kapal di atas gelombang sebagai balok, sementara Atwood mengubah penampang melintang kapal yang cukup kompleks sebagai sebuah balok dengan beberapa flanges.

#### 2.5. Respon-Respon Struktur Sekunder

Dalam perhitungan respon-respon sekunder, tujuan utamanya adalah menentukan penyebaran baik pembebanan dalam bidang ataupun yang tegak lurus bidang panel pelat berpenegar, serta lendutan dan tegangan pada panjang dan lebar panel tersebut.

#### 2.6. Respon-Respon Struktur Tertier

Yang dimaksud dengan respon-respon tertier adalah tegangan lengkung dan lendutan pada panel-panel pelat individual yang dibatasi oleh penegar-penegar dari suatu panel sekunder.

#### 2.7. Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan 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 *ultimate* (*ultimate load*). Dengan membagi beban *ultimate* dengan luas penampang, kita akan memperoleh kekuatan *ultimate* (*ultimate strength*) atau tegangan *ultimate* (*ultimate stress*) dari suatu bahan. Karena tegangan dikalikan luas sama dengan gaya, maka tegangan ijin dari *ultimate* dapat diubah dalam bentuk gaya atau beban yang diijinkan dan *ultimate* yang dapat ditahan oleh sebuah batang.

Suatu perbandingan (*ratio*) yang penting dapat ditulis :

$$FS = (\sigma_{max}/\sigma_v)$$

$$FS > 1 \text{ (aman)}$$

#### 2.8. Metode Elemen Hingga

Metode elemen berhingga (*finite element*) biasa 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 bersama sama di sejumlah titik simpul.

#### 2.9. Permodelan *Ansys Mechanical APDL*

ANSYS adalah *software* permodelan dan analisis elemen hingga. Dalam penelitian ini, digunakan *software FEM ANSYS Mechanical APDL 16*.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Skema Pembebanan

Skema pembebanan pada kapal dilakukan 3 analisa. Yaitu *sagging*, *hogging*, dan *still water*. Pada model pada bagian tengah *Displacement All DOF = 0*, kemudian untuk kedua bagian terluar dilakukan *Coupling All DOF* pada tiap nodes agar tiap nodes dapat dikontrol oleh satu titik saja.

#### 3.2. Perancangan

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*

#### 3.3. Data primer

Kapal MT Indradi merupakan kapal berbendera singapura. Kapal ini adalah kapal yang disewakan dengan muatan *chemical carrier*.

Untuk mendistribusikan hasil pengeboran minyak dari bangunan lepas pantai yang jaraknya ratusan mil dari daratan diperlukan sebuah alat transportasi laut. Kapal tanker merupakan alat transportasi yang dispesifikasikan untuk mengangkut muatan minyak, tidak hanya dari tempat pengeboran menuju darat, namun tanker

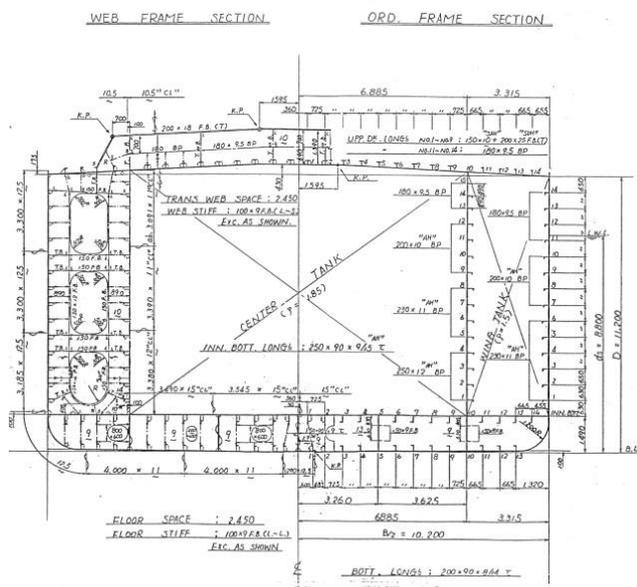
juga digunakan untuk sarana angkut perdagangan minyak antar pelabuhan atau antar negara.



Gambar 3.3 Kapal MT Indradi

Data primer yang dibutuhkan dalam penelitian antara lain:

- a. Ukuran utama kapal
  - Nama = MT. Indradi
  - Tipe = Chemical Vessel
  - LPP = 124 m
  - Sarat = 8.75 m
  - Lebar = 20.4 m
  - Tinggi = 11.2 m
  - DWT = 13944 ton
- b. Gambar Profil konstruksi kapal
- c. Gambar *Midship Section*



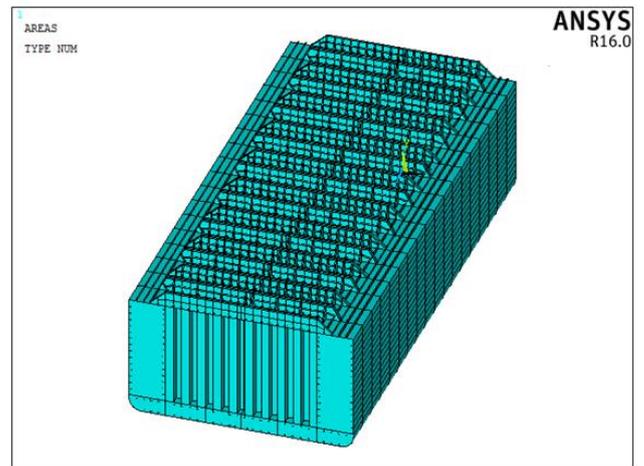
Gambar 3.4 *Midship Section* MT Indradi



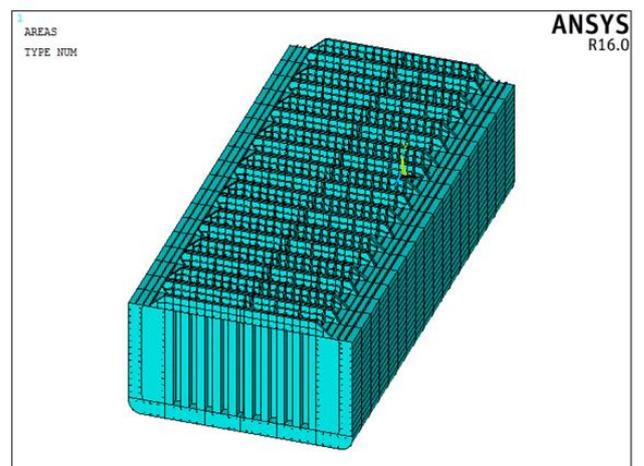
Gambar 3.5 *Cargo Wing Tank* yang akan dimodifikasi dengan penambahan *Inner Shell*

### 3.4. Pemodelan Geometri

Pemodelan geometri terdiri atas model badan kapal. Pemodelan pada bagian badan kapal (*midship*) dalam bentuk *Surface*.



Gambar 3.6 Geometri model *Single Hull*



Gambar 3.7 Geometri model *Double Hull*

### 3.5. Material

Material yang di gunakan untuk hull kapal adalah *Linier Elastic Isotropic*

Tabel 3.1 Parameter Material *Linier Elastic Isotropic*

<i>Young's modulus (N/m<sup>2</sup>)</i>	2,10x10 <sup>11</sup>
<i>Poisson ratio</i>	0,3

### 3.6. Pendiskripsian elemen (*meshing*)

*Meshing* merupakan pembagian benda menjadi bagian-bagian yang kecil, yang masih memiliki sifat-sifat yang sama dengan benda asalnya. Pembagian elemen pada geometri dengan cara pengaturan ukuran *meshing* pemilihan element attributes, jenis mesh berupa *Shell 181* untuk hull kapal.

### 3.7. Pendefinisian Pembebanan

Beban yang diinputkan ialah dari muatan itu sendiri. Dalam penelitian ini karena ada dua jenis struktur maka pembebanan dibagi menjadi dua bagian yaitu beban dari muatan dengan struktur *single hull* dan muatan dengan struktur *double hull*.

Muatan dalam 1 kompartemen :

➤ Berat pada kapal dengan struktur *single hull* :

Muatan pada *center cargo tank*

= berat muatan x berat jenis minyak mentah x gravitasi

= 1.351,246 m<sup>3</sup> x 0,88 x 9,81 m/s<sup>2</sup>

= 11665,03 N

Muatan pada *wing cargo tank (P)*

= berat muatan x berat jenis minyak mentah x gravitasi

= 295,670 m<sup>3</sup> x 0,88 x 9,81 m/s<sup>2</sup>

= 2552,45 N

Muatan pada *wing cargo tank (S)*

= berat muatan x berat jenis minyak mentah x gravitasi

= 295,670 m<sup>3</sup> x 0,88 x 9,81 m/s<sup>2</sup>

= 2552,45 N

Beban muatan total pada satu kompartemen untuk *single hull* = 16.769,95 N

➤ Berat pada kapal dengan struktur *double hull* :

Muatan pada *center cargo tank*

= berat muatan x berat jenis minyak mentah x gravitasi

= 1.351,246 m<sup>3</sup> x 0,88 x 9,81 m/s<sup>2</sup>

= 11665,03 N

Muatan pada *wing cargo tank (P)*

= berat muatan x berat jenis minyak mentah x gravitasi

= 201,52 m<sup>3</sup> x 0,88 x 9,81 m/s<sup>2</sup>

= 1.741,70 N

Muatan pada *wing cargo tank (S)*

= berat muatan x berat jenis minyak mentah x gravitasi

= 201,52 m<sup>3</sup> x 0,88 x 9,81 m/s<sup>2</sup>

= 1.741,70 N

Beban muatan total pada satu kompartemen untuk *single hull* = 13.419,99 N

Pembebanan selanjutnya yang di gunakan pada penelitian ini yaitu kondisi *sagging*, *hogging*, dan *stall water bending moments*.

$$M_{WV-sagg} = L^2 \cdot B \cdot C_0 \cdot (0,19 \times C_b) \cdot C_L \cdot C_M$$

$$= -409426440 \text{ N}$$

$$M_{WV-hogg} = L^2 \cdot B \cdot C_0 \cdot (-0,11 \cdot (0,19 \times C_b)) \cdot C_L \cdot C_M$$

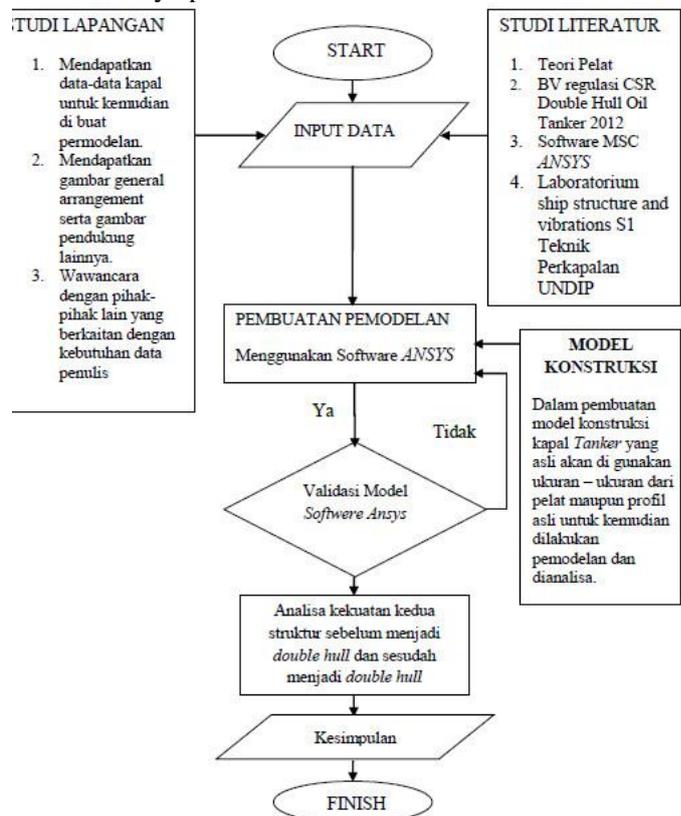
$$= 390882856 \text{ N}$$

$$M_{Swini} = n_1 \times C_0 \cdot L^2 \cdot B \cdot (0,123 - 0,015 \cdot C_g)$$

$$= 313068570 \text{ N}$$

### 3.8. Metodologi Penelitian

Penyusunan penelitian Tugas Akhir ini didasarkan pada sistematika metodologi yang diuraikan berdasarkan urutan diagram alir atau *flow chart* yang dilakukan mulai penelitian hingga selesainya penelitian



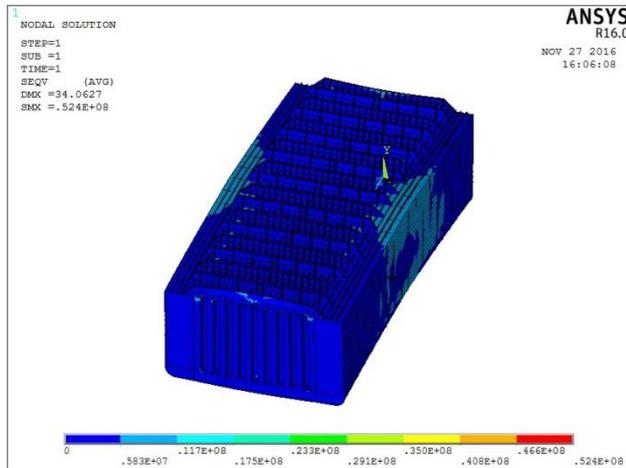
Gambar 3.8 Flowchart Metodologi Penelitian

## 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Analisa kapal Single Hull

#### 4.1.1. Analisa kapal saat *hogging*

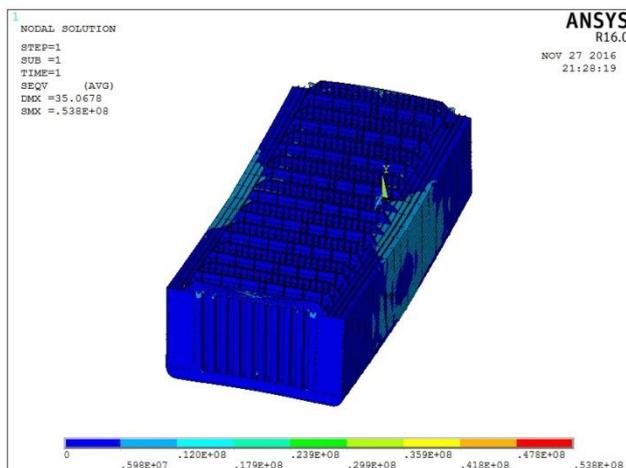
Hasil analisa pada saat kondisi *hogging* didapat tegangan maksimum sebesar  $5,24 \times 10^7$  Pa atau 52,4 Mpa terletak pada node @278056.



Gambar 4.1 Hasil analisa struktur *single hull* saat kondisi *sagging*

#### 4.1.2. Analisa kapal saat *sagging*

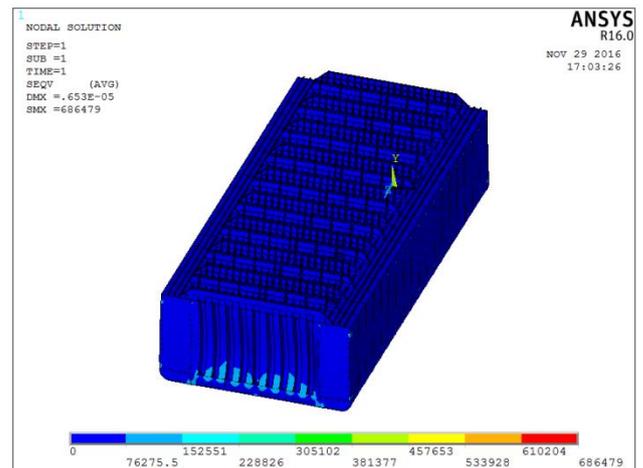
Hasil analisa pada saat kondisi *sagging* didapat tegangan maksimum sebesar  $5,38 \times 10^7$  Pa atau 53,8 Mpa terletak pada node @50924.



Gambar 4.2 Hasil analisa struktur *single hull* saat kondisi *hogging*

#### 4.1.3. Analisa kapal saat *still water bending moments*

Hasil analisa pada saat kondisi *still water bending moments* didapat tegangan maksimum sebesar  $0,653 \times 10^4$  Pa atau 6,53 Mpa terletak pada node @244067.

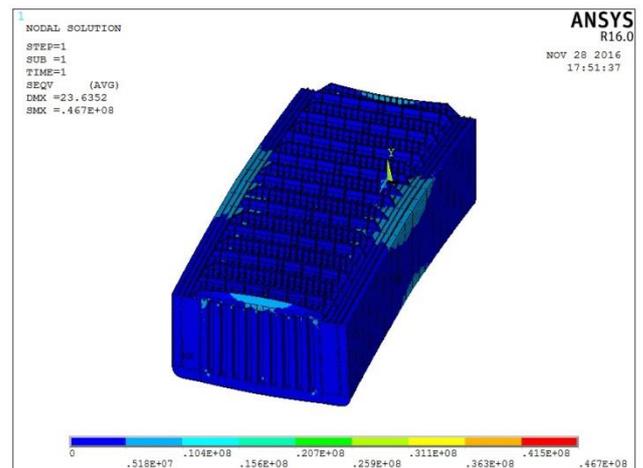


Gambar 4.3 Hasil analisa struktur *single hull* saat kondisi *still water bending moments*

### 4.2. Analisa kapal Double Hull

#### 4.2.1. Analisa kapal saat *hogging*

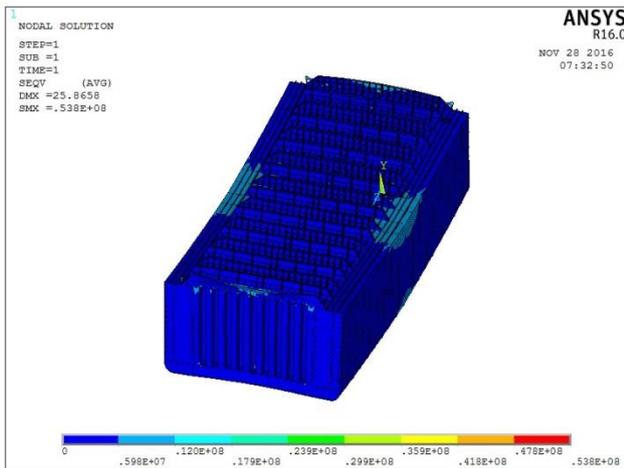
Hasil analisa pada saat kondisi *hogging* didapat tegangan maksimum sebesar  $4,67 \times 10^7$  Pa atau 46,7 Mpa terletak pada node @325087.



Gambar 4.4 Hasil analisa struktur *Double Hull* saat kondisi *sagging*

#### 4.2.2. Analisa kapal saat *sagging*

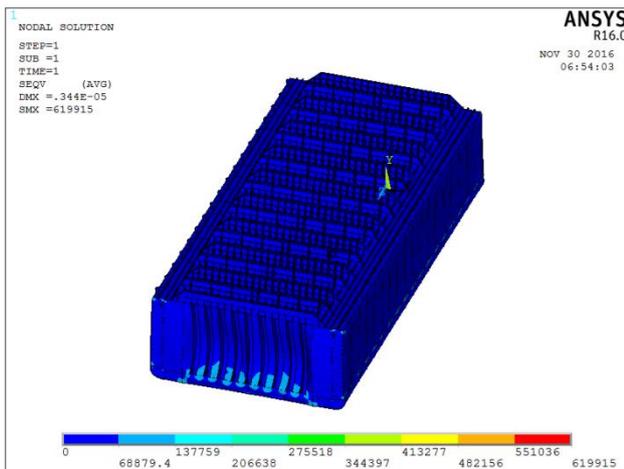
Hasil analisa pada saat kondisi *sagging* didapat tegangan maksimum sebesar  $5,38 \times 10^7$  Pa atau 53,8 Mpa terletak pada node @583819.



Gambar 4.5 Hasil analisa struktur *Double Hull* saat kondisi *hogging*

#### 4.2.3. Analisa kapal saat *still water bending moments*

Hasil analisa pada saat kondisi *still water bending moments* didapat tegangan maksimum sebesar  $0,344 \times 10^7$  Pa atau 3,44 Mpa terletak pada node @377542.



Gambar 4.6 Hasil analisa struktur *Double Hull* saat kondisi *still water bending moments*

#### 4.3. Output Data

Dari hasil *post processing* program ANSYS Mechanical APDL didapatkan data tegangan pada struktur *ring construction* 1 kompartemen, sehingga letak titik kritis pada *ring construction* kapal dari hasil *post processing* akan diketahui apakah masih dalam batas aman untuk sebuah desain suatu sistem. *Output data* dari software ANSYS adalah tegangan *von mises* yang digunakan untuk menghitung kriteria kegagalan dari kekuatan material pada suatu sistem struktur.

#### 4.4. Hasil Analisa Perhitungan

##### 4.4.1. Tegangan Ijin Berdasarkan *Rules* BKI

Nilai *factor safety* (FS) dapat dihitung dengan rumus :

$$FS = (\sigma_{yield} / \sigma_{max})$$

Tabel 4.1 Hasil Analisa berdasarkan *Rules* tegangan ijin BKI untuk kapal sebelum konversi *single hull*

Kondisi	$\sigma_{mak}$ (N/m <sup>2</sup> )	Lokasi Nodal	$\sigma_{ijin}$ (N/m <sup>2</sup> )	Fs	Ket
Sagging	87,7	278056	330,4	3,76	Pass
Hogging	83,7	50924	330,4	3,94	Pass
Still Water	39,8	244067	330,4	8,30	Pass

Tabel 4.2 Hasil Analisa berdasarkan *Rules* tegangan ijin BKI untuk kapal sesudah konversi ke *double hull*

Kondisi	$\sigma_{mak}$ (N/m <sup>2</sup> )	Lokasi Nodal	$\sigma_{ijin}$ (N/m <sup>2</sup> )	Fs	Ket
Sagging	85,6	325087	330,4	3,85	Pass
Hogging	79,5	583819	330,4	4,15	Pass
Still Water	39,6	377542	330,4	8,34	Pass

##### 4.4.2. Tegangan Ijin Berdasarkan Kemampuan Material

Kriteria baja grade A-BKI

*Modulus elastisitas* = 200.000 Mpa

*Ultimate stress* = 400 Mpa

*Yield* = 235 Mpa

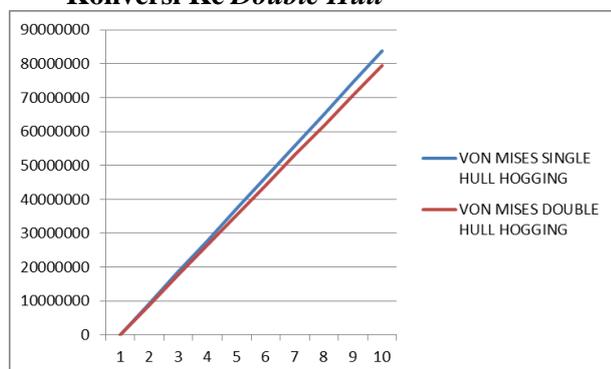
Tabel 4.3 Hasil Analisa berdasarkan kemampuan material untuk kapal sebelum konversi (*single hull*)

Kondisi	$\sigma_{mak}$ (N/m <sup>2</sup> )	Lokasi Nodal	$\sigma_{ijin}$ (N/m <sup>2</sup> )	Fs	Ket
Sagging	87,7	278056	235	2,68	Pass
Hogging	83,7	50924	235	2,80	Pass
Still Water	39,8	244067	235	5,90	Pass

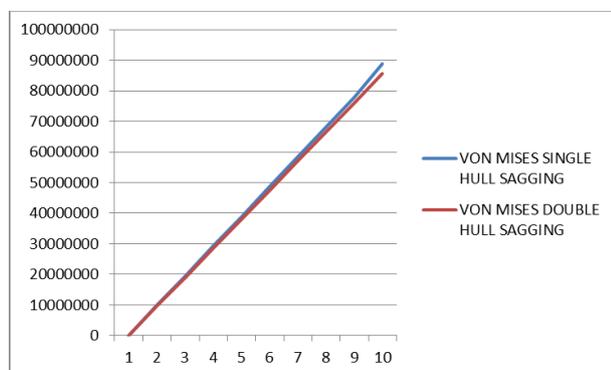
Tabel 4.4 Hasil Analisa berdasarkan kemampuan material untuk kapal sesudah konversi ke *double hull*

Kondisi	$\sigma_{mak}$ (N/m <sup>2</sup> )	Lokasi Nodal	$\sigma_{ijin}$ (N/m <sup>2</sup> )	Fs	Ket
Sagging	85,6	325087	235	2,74	Pass
Hogging	79,5	583819	235	2,96	Pass
Still Water	39,6	377542	235	5,93	Pass

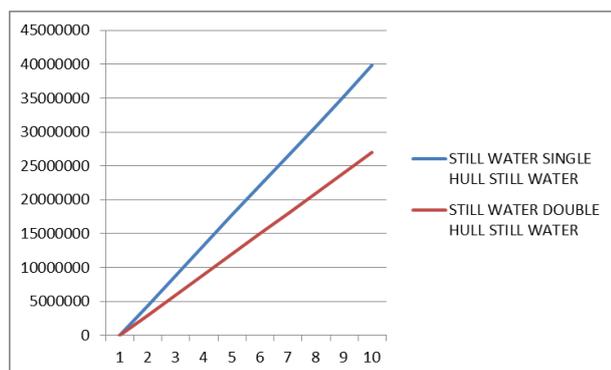
#### 4.5. Grafik Perbandingan Tegangan Yang Terjadi Ketika Kapal Sebelum Dilakukan Konversi Dan Sesudah Dilakukan Konversi Ke *Double Hull*



Grafik 1 Perbandingan Tegangan Pada Kapal Saat Kondisi *Hogging*



Grafik 2 Perbandingan Tegangan Pada Kapal Saat Kondisi *Sagging*



Grafik 3 Perbandingan Tegangan Pada Kapal Saat Kondisi *Still Water Bending Moments*

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Tegangan pada kapal MT. Indradi dapat diminimalisir dengan adanya peran *inner shell* tersebut. Nilai tegangan yang diminimalisir dapat berkurang sebesar 0,05% pada saat kondisi *hogging*, 0,03% pada saat kondisi *sagging*, dan 0,005% pada saat kondisi *still water bending moment*.
2. Tegangan maximum stress terbesar yang terjadi pada konstruksi Single Hull yaitu sebesar 87,7 N/mm<sup>2</sup> pada pembebanan full load ketika kondisi *sagging*.
3. Tegangan maximum stress terbesar yang terjadi pada konstruksi Single Hull yaitu sebesar 85,6 N/mm<sup>2</sup> pada pembebanan full load ketika kondisi *sagging*.
4. Pada saat kapal dalam keadaan konstruksi Single Hull, daerah paling kritis terjadi pada node 278056 dengan tegangan terbesar 87,7 N/mm<sup>2</sup> yang terletak di bottom longitudinal frame no. 10. Tegangan ini masih dalam kondisi aman karena setelah dibandingkan dengan ketetapan σijin BKI sebesar 330,4 N/mm<sup>2</sup> dan σijin kriteria material BKI sebesar 235 N/mm<sup>2</sup>, nilai FS > 1 (aman).
5. Sedangkan pada saat kapal dalam keadaan konstruksi Double Hull, daerah paling kritis terjadi pada node 325087 dengan tegangan terbesar 85,6 N/mm<sup>2</sup> yang terletak di bulkhead plate pada frame inner shell no. 7. Tegangan ini masih dalam kondisi aman karena setelah dibandingkan dengan ketetapan σijin BKI sebesar 330,4 N/mm<sup>2</sup> dan σijin kriteria material BKI sebesar 235 N/mm<sup>2</sup>, nilai FS > 1 (aman).

### 5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Analisa dilakukan pada penambahan side shell saja, maka kapal dapat dilakukan analisa tubrukan untuk melihat dampak pada penambahan side shell
2. Perlu adanya kajian ulang tentang ketahanan double bottom dalam ketika terjadi penambahan struktur baru pada cargo wing tank

3. Perlu adanya analisa olah gerak kapal karena adanya perubahan muatan pada cargo wing tank.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] ANSYS. 2016. Mechanical APDL Introductory Tutorials.
- [2] \_\_\_\_\_. 2016. Mechanical APDL Introductory Tutorials.
- [3] IACS. 2012. "Common Structural Rules for Bulk Carrier and Oil Tanker". London
- [4] BV Rules. 2012. "Double Hull Oil Tanker July". Perancis
- [5] BKI Rules. 2012. "Rules For Hull". Indonesia
- [6] Kharis, Muhammad. 2014. Analisis Teknis dan Ekonomis Konversi Kapal Tanker Single hull Menjadi Double Hull. Surabaya : JURNAL TEKNIK POMITS
- [7] Sony. 2011. TANKER SHIP. Surabaya : Pena Kata.
- [8] MARPOL 73/78-Annex 1. 2001. "Regulations for the Prevention of Pollution by Sewage from Ships". London
- [9] Y. Bai, *Marine Structural Design*. Houston: Elsevier Ltd, 2003.
- [10] D. G. M. Watson, *Practical Ship Design (Elsevier Ocean Engineering)*, vol. 1. 1998.