

ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI *DOUBLE BOTTOM* PADA *FRAME 46* SAMPAI *FRAME 50* AKIBAT PERUBAHAN DARI *SINGLE HULL* KE *DOUBLE HULL* PADA KAPAL TANKER 13944 LTDW DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Ary Ramadhan¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾, Hartono Yudo¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia

Email: Aryrdh50@gmail.com

Abstrak

Kapal Tanker Indradi 13944 LTDW merupakan kapal yang dirancang untuk mengangkut cairan dalam jumlah besar. Karena kebutuhan minyak yang selalu meningkat, mengakibatkan kapal harus dapat beroperasi sesuai peraturan MARPOL 73/78-Annex 1, Regulation 13G, Amandemen 2001 perubahan lambung wajib dilakukan terhadap lambung kapal[3][4]. Penelitian ini hanya bertujuan untuk membandingkan Model sebelum dan sesudah dimodifikasi saat berada pada kondisi beban statis, *Sagging* dan *Hogging*. Adapun skenario pembebanan meliputi muatan penuh pada model *Ring Construction* dan *Double Bottom* saja sebelum dimodifikasi dan sesudah dimodifikasi[2]. Akibat perubahan pada ruang muat dengan penambahan inner shell, double bottom mengalami perubahan pembebanan. Maka itu memodifikasi konstruksi pada Bottom dengan menghitung kembali, sarat kapal untuk mendapatkan ukuran profil dan ketebalan baja yang aman untuk bobot kapal yang baru sesuai dengan *Rules* BKI. Hasil analisa dengan Software berbasis FEM berupa tegangan *Von Mises* yang terjadi pada *Double Bottom* sebelum dimodifikasi pada keadaan Statis sebesar 14,3 Mpa, *Sagging* sebesar 71,6 Mpa, *Hogging* sebesar 68,4 Mpa, Kemudian *Double Bottom* sesudah dimodifikasi pada keadaan Statis sebesar 12,0 Mpa, *Sagging* sebesar 48,8 Mpa, *Hogging* sebesar 46,5 Mpa. Hasil analisa yang paling kritis pada Tegangan (stress) maksimum terbesar yang terjadi pada *Double bottom* frame 46-50 kapal *chemical carrier* 13944 LTDW ini sebesar 71,6 N/m² pada kondisi *Sagging* model *Double bottom* saja sebelum dimodifikasi dan 48,8 N/mm² pada model *double bottom* saja setelah dimodifikasi pembebanan ketika kondisi *sagging*.

Kunci: *Tanker Double hull, Analisa kekuatan Structure Double Bottom, Finite Element*

Abstract

13944 Indradi LTDW Tanker ship is a ship that designed for carrying liquids in bulk. Because the oil needs are always increasing, resulting in the ship must operate according to the rules of MARPOL 73/78-Annex 1, Regulation 13G, 2001's Amendments the hull changes must be done against the ship's hull[3][4]. The effect of changes on load space with the inner shell increase, double bottom run into loading changes. Therefore modifying the construction on the Bottom by recalculate, the ship requirement to get the profile size and thickness of steel that are safe for the weight of the ship in accordance with BKI rules. The analysis result with FEM based software such as Von Mises tension that happen on contribution ring before the Double Bottom modified, Static condition is 14,3 Mpa, Sagging is 71,6 Mpa, Hogging is 68,4 Mpa, then Static condition of Double Bottom only is 12,0 Mpa Sagging is 48,8 Mpa Hogging is 46,5 Mpa after Double Bottom modified, The most critical analysis result on the biggest maximum Tension (stress) that happen on Double Bottom frame 46-50 13944 LTDW chemical carrier ships as big as 71,6 N/m² while Sagging model condition of Double Bottom only before modified and 48,8 N/mm² after modified.

Key Words : *Tanker Double hull , Analysis power of Structure Double Bottom Finite Element, Double Hull Tanker, Finite Element*

1. PENDAHULUAN

Pada kasus kecelakaan *oil tanker* Exxon Valdez tahun 1989 di Prince William Sound, Alaska, Amerika Serikat (AS) menunjukkan tidak efektifnya Undang-undang Polusi Minyak tahun 1990 (OPA 90) berstandar Internasional mengenai pencegahan polusi lingkungan yang disebabkan oleh kapal. (Europa.eu, 2011). Untuk itu, diberlakukan persyaratan penggunaan lambung ganda (*double hull*) pada *tanker* baru dan *tanker* lama. Karena itu *International Maritime Organization*(IMO) mengambil tindakan dan menetapkan standar lambung ganda pada tahun 1992 dalam *International Convention for the Prevention of the Pollution from Ships* (MARPOL)[3][4]. Konvensi ini mengharuskan semua kapal minyak dengan bobot mati (DWT) 600 ton atau lebih yang diserahkan pada atau setelah tanggal 6 Juli 1996 menggunakan lambung ganda[5].

Adanya kebutuhan minyak yang selalu meningkat dan kapal kapal yang berlayar harus memenuhi peraturan maka dari itu pada jenis kapal *tanker single hull* ini dilakukan konversi menjadi *tanker double hull* agar memenuhi peraturan internasional dan aman dari pencemaran lingkungan

Perubahan ini mengakibatkan beban yang diterima oleh Double Bottom berbeda dengan adanya perubahan dalam lambung kapal atau hull kapal dari *single hull* menjadi *double hull*, sehingga diperlukan analisa kekuatan konstruksi *double bottom*. [7]

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

1. Berapa nilai kekuatan pada system konstruksi *double bottom* kapal MT.Indradi 13944 LTDW sesudah dilakukan perubahan *single hull* ke *double hull* ?
2. Berapa nilai tegangan maksimum yang terjadi pada Sistem konstruksi *double bottom* Kapal MT. Indradi 13944 LTDW sesudah dilakukan perubahan *single hull* ke *double hull* ?
3. Dimana Letak komponen konstruksi *double bottom* antara *frame 46* sampai *frame 56* pada kapal MT. Indradi 13944 LTDW yang paling kritis setelah dilakukan perubahan terhadap pembebanan maksimum ?

Batasan masalah digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir sehingga sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan. Adapun batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Asumsi perhitungan menggunakan analisa linier statis.
2. Analisa dilakukan pada *frame 46* sampai dengan *frame 50*
3. Hasil analisa yang dilakukan berupa besarnya tegangan yang terjadi pada konstruksi *double bottom* kapal yang telah dimodifikasi
4. Analisa berdasarkan *local stress*
5. Material baja yang digunakan adalah baja *grade B*
6. Analisa hanya menggunakan software berbasis finite elemen method yaitu Nastran dan Patran

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

1. Mendapatkan data tegangan maksimum yang terjadi pada *system* konstruksi modifikasi *double bottom* sesudah dilakukan perubahan *single hull* ke *double hull* pada kapal MT. Indradi 13944 LTDW.
2. Mendapatkan data tegangan maksimum yang terjadi pada *system* konstruksi modifikasi *double bottom* sesudah dilakukan perubahan *single hull* ke *double hull* pada kapal MT. Indradi 13944 LT Mendapatkan nilai SF (*factor of safety*) pada konstruksi *Double Bottom* kapal MT. Indradi 13944 LTDW yang telah imodifikasi .
3. Mendapatkan data mengenai letak komponen – komponen yang paling kritis dan perlu mendapat perhatian lebih pada system konstruksi modifikasi *Double Bottom*

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Chemical Carrier

Kapal *Tanker* Indradi 13944 LTDW adalah kapal yang memiliki fungsi mengangkut muatan cair. Namun tingginya aktivitas dan juga permintaan akan kebutuhan mengakibatkan kapal ini harus dapat beroperasi, sesuai peraturan *International Convention for the Prevention of the Pollution from Ships* (MARPOL) perubahan

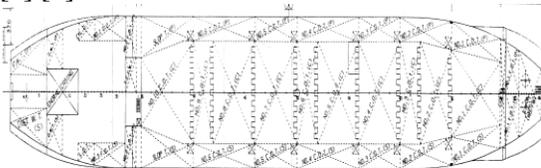
lambung wajib dilakukan terhadap lambung kapal.



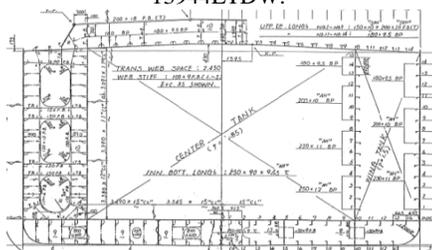
1.1 Chemical Carrier 13944 LTDW

2.2 Konversi Single Hull menjadi Double Hull

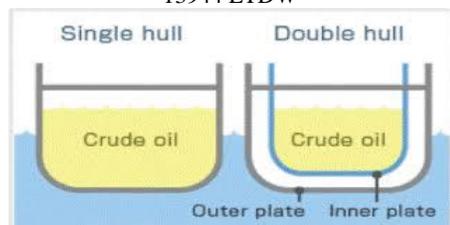
Lambung kapal merupakan bagian utama kapal yang dapat berfungsi sebagai daya apung. Kapal Tanker terdapat 2 jenis yaitu *Single Hull* dan *Double Hull*. Banyaknya pencemaran akibat kecelakaan kapal berkulit tunggal, maka Perserikatan Bangsa Bangsa tahun 1973 menghasiil untuk jenis kapal berkulit tunggal diharuskan dikonversi menjadi berkulit ganda pada kapal kapal yang sudah ada, sedangkan untuk kapal yang akan dibangun diharuskan berkulit ganda. [3] [4]



Gambar 2.1 Gambar RU Chemical Carrier 13944 LTDW.



Gambar 2.2 Gambar midship Chemical Carrier 13944 LTDW



Gambar 2.3 Gambar konversi Single Hull ke Double Hull

2.3 Teori Elastisitas

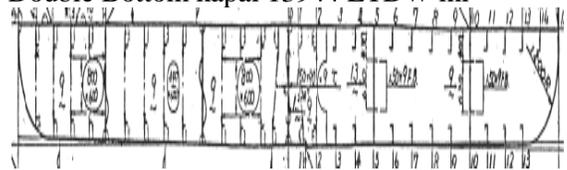
Menurut Szilard (1989), Teori Elastisitas merupakan cabang dari fisika matematis yang mengkaji hubungan gaya, perpindahan, tegangan, regangan, dan beda elastis. Bila suatu pejal di bebani gaya dari luar, benda tersebut akan berubah bentuk/berdeformasi, sehingga timbul tegangan dan regangan dalam. Perubahan bentuk ini tergantung pada konfigurasi geometris benda tersebut dan mekanis bahannya. Teori Elastisitas menganggap bahan bersifat *homogen* dan *Isotropik*, dengan demikian sifat mekanis bahan sama dalam segala arah. [7].

2.4 Metode Elemen Hingga

Kurva B-spline merupakan suatu Metode elemen hingga/*Finite Element Method* (FEM) adalah prosedur numerik untuk memperoleh solusi permasalahan yang ditemukan dalam analisa teknik. Metode elemen hingga mengkombinasikan beberapa konsep matematika untuk menghasilkan persamaan sistem linier atau nonlinier. Dalam metode elemen hingga, model elemen matematik dibentuk dengan membagi struktur menjadi bagian-bagian kecil (diskretisasi) yang disebut elemen. Masing-masing elemen yang bersebelahan dihubungkan dengan sejumlah titik tertentu yang disebut titik grid. [9].

2.5 Modifikasi Double Bottom

Double Bottom ialah dasar kapal yang memiliki peranan penting terhadap kapal itu sendiri. *Double Bottom* memiliki arti dasar ganda atau alas berganda. Akibat adanya konversi kapal 13944 LTDW dari *Single Hull* ke *Double Hull* maka adanya penambahan beban dan gaya tekan terhadap konstruksi alas kapal ini, maka dari itu diadakannya analisa dengan memodifikasi *Double Bottom* kapal 13944 LTDW ini



Gambar 2.4 Gambar Double Bottom

Tabel 2.1. Profil Bottom Chemical Carrier 13944 LTDW

No	Nama Profil	Ukuran Profil	Jenis Profil
1	Bottom Longitudinal	200 x 90 x 8	L
2	Floor Stiffner	75 x 75 x 10	L

2.6 Faktor Keamanan (Factor of Safety)

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 *ultimat (ultimate load)*. Suatu perbandingan (*ratio*) yang penting dapat ditulis :

$$FS = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{ijin}} \quad [6]$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Lapangan

Pada saat studi lapangan, pengambilan data dilakukan dengan 2 metode, yaitu metode observasi dan wawancara langsung dengan pihak terkait, seperti *Owner Surveyor* Kapal 13944 LTDW dan pihak galangan. Studi lapangan dilaksanakan ditempat *Owner Surveyor*. Adapun materinya antara lain:

1. Data Ukuran utama kapal

Nama Kapal	: 13944	LTDW
Lpp	: 124,00	meter
Breadth	: 20,4	meter
Draft	: 11,20	meter
Depth	: 8,80	meter
2. Data gambar-gambar desain konstruksi

3.2 Studi Literatur

Setelah melakukan pengumpulan data serta observasi lapangan, penulis melakukan pengkajian melalui referensi literatur baik dari buku maupun publikasi di internet antara lain tentang

1. Teori Metode Elemen Hingga
2. Teori Plat
3. BKI Vol II
4. Jurnal Jurna dan Refrensi
5. Pedoman Nastran Patran
6. Buku Mektek

3.3 Pengolahan Data

Setelah semua data – data penelitian diperoleh, langkah selanjutnya adalah pengolahan data. Pengolahan data bertujuan untuk mempermudah dalam proses analisa nantinya. Adapun pengolahan data yang dikerjakan penulis dalam penelitian tugas akhir ini antara lain :

- Penentuan jenis dan ukuran komponen konstruksi pada *double bottom*
- Pemilihan material yang digunakan
- Perhitungan Pembebanan
- Perhitungan *longitudinal strength*

3.3 Pembuatan Model

Setelah data – data penelitian selesai diolah, langkah selanjutnya adalah pembuatan model *Double Bottom*. Pada permodelan *double bottom* ini dibuat 3 model, yaitu model *ring construction* dan *double bottom* sebelum dan sesudah dimodifikasi. Model yang dibuat berdasarkan *double bottom* yang sebenarnya dilapangan

3.4 Validasi

Validasi adalah tahapan untuk memperoleh gambaran apakah hasil analisa telah sesuai (*match*) dengan sistem yang diwakilinya (*representativeness*). Proses validasi ini biasa dijadikan parameter apakah hasil analisa yang sudah kita lakukan mendekati benar atau salah, validasi biasa dengan menggunakan *software* lain ataupun dengan cara manual. Adapun hasil perbandingan antara analisa *software* harus mendekati hasil perhitungan manual.

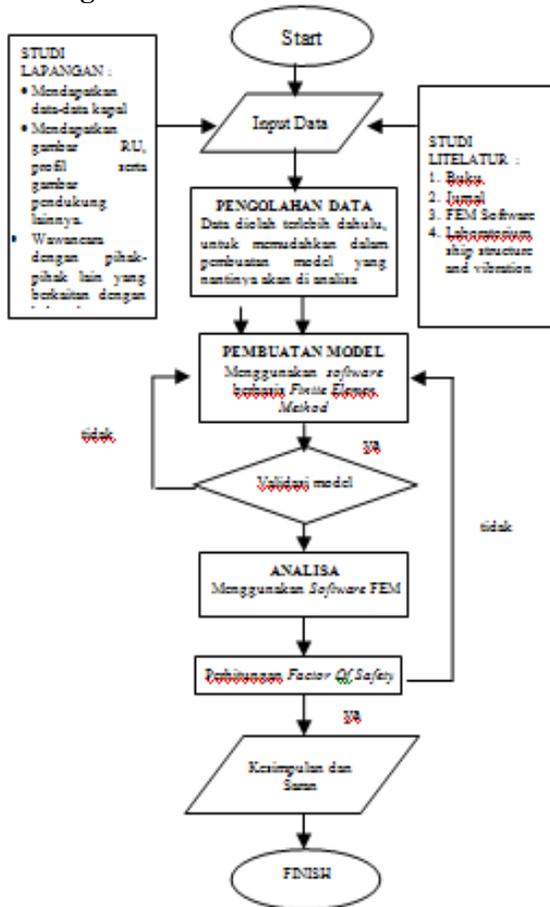
3.5 Analisa dan Pembuatan

Merupakan bagian akhir untuk mencapai hasil penelitian, yaitu didapatkannya kesimpulan final Tugas Akhir sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Dari semua hasil pengolahan data berupa gambar, serta perhitungan yang diperoleh dan telah dikelompokkan maka kemudian dilakukan proses analisa kekuatan kapal. Proses analisa yang dilakukan tetap mengacu pada teori dan literatur (pustaka) yang ada

3.6 Penarikan kesimpulan

Pada tahap ini diambil kesimpulan, kesimpulan diperoleh dari data yang telah diolah dan dianalisa sesuai dengan tujuan awal yang telah di tetapkan pada penelitian serta saran mengenai pengembangan penelitian lanjutan

3.6 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum Modifikasi DoubleBottom

Double Bottom merupakan konstruksi paling bawah dari bagian kapal, sehingga konstruksinya harus kuat. Karena disamping adanya gaya tekan air keatas juga harus mampu menahan beban dari lambung dan geladak kapal. *Double Bottom* yang terletak dibawah ruang muat antara *frame* no 46 sampai *frame* no.50 merupakan modifikasi dari *double bottom* dibawah ruang muat konversi *single hull* ke *double hull*.

Sebelum dilakukan modifikasi, kapal ini berlambung tunggal, belum memiliki *inner shell*, setelah dikonversi menjadi *double hull*, maka dilakukan modifikasi *double bottom*. Saat dimodifikasi harus sesuai dengan rules BKI agar mencapai safety factor yang lebih baik. modifikasi dilakukan dengan menghitung ulang pembebanan maksimal, ukuran, profil dll.

4.2. Permodelan Double Bottom

Dalam pembuatan model ring konstruksi dan *double bottom* pada software Msc Patran menggunakan ukuran dan dimensi sesuai dengan *double bottom* yang sesungguhnya. Selain itu, material dan properti dari elemen ditentukan sesuai dengan desain *double bottom* yang sebenarnya. Pembuatan model ring konstruksi dan *double bottom* dimulai dengan mendefinisikan geometri untuk tiap elemen yang akan dibuat sesuai dengan bentuk, ukuran dan jenis propertinya. Geometri model dibuat menjadi sebuah sistem yang saling terhubung hingga menjadi kesatuan pada sistem model ring konstruksi dan *double bottom*.

Setelah model selesai dibuat, proses selanjutnya adalah proses *meshing*. *Meshing* merupakan proses pembuatan model menjadi kumpulan nodal elemen hingga yang lebih kecil yang dimana antar elemen saling terhubung satu dengan yang lainnya. Pada proses *meshing*, tiap bagian dari model ring konstruksi dan *double bottom* didefinisikan dengan ukuran yang berbeda. Setelah proses *meshing* selesai, langkah selanjutnya adalah penentuan jenis material sesuai dengan material sebenarnya. Untuk jenis material yang digunakan dalam model ini adalah baja Grade B Dimana kriteria bahan baja tersebut adalah :

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisity} &= 2,1 \times 10^{11} \text{ Mpa} \\ \text{Shear Modulus} &= 0,8 \times 10^{11} \text{ Mpa} \\ \text{Poisson's Ratio} &= 0,3 \\ \text{Density} &= 7,850 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

Kemudian langkah selanjutnya menentukan *boundary condition*. *Boundary Conditions* dapat diartikan juga sebagai

kondisi jepit yang fungsinya menjaga agar tiap-tiap ujung benda tetap kaku (*rigid*), tidak bergerak-gerak saat analisa dilakukan Adapun *Boundary Conditions* untuk analisa kekuatan modifikasi konstruksi *Double Bottom* ini sesuai ketentuan dibawah ini :

- *Independent Point on midle* :
Translational (x, y, z) = <0, 0, 0>
Rotational (x, y, z) = <0, 0, 0>
- *Independent Point on midle* :
Translational (x, y, z) = <0, 0, 0>
Rotational (x, y, z) = <0, 0, 0>

4.3. Pembebanan

Beban (*load*) yang akan diinputkan pada model *double bottom* diasumsikan sebagai berikut :

- Tekanan Hidrostatik Air Laut Terhadap Kapal
- Beban Muatan (*full load*)
- Sagging dan Hogging

Berat pembebanan tekanan hidrostatik pada ring konstruksi dan *double bottom* dihitung menggunakan rumus : $P = \rho \times g \times h$

Sedangkan berat pembebanan muatan pada ring konstruksi dan *double bottom* sesudah dimodifikasi dihitung menggunakan rumus : $F = m \times g$ dan $P = F/A$

Beban pada masing – masing kondisi diinputkan untuk mencari bending moment, sagging dan hogging, kemudian memakai beban geladak, beban sisi baik diatas maupun dibawah air. Adapun beban per luasan pada masing – masing kondisi pembebanan adalah sebagai berikut :

- **Tekanan Hidrostatik Air(Ring Construction)**
 ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)
 g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)
 h = kedalaman permukaan (8,8 m)
 $P = 1025 \times 9,8 \times 8,8$
 $= 88.396 Pa$
- **Tekanan Hidrostatik Air (Double Bottom)**
 ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)
 g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)
 h = kedalaman permukaan (1,49 m)
 $P = 1025 \times 9,8 \times 1,49$

$$= 19.085,5 Pa$$

- **Tekanan Muatan Minyak Mentah**

F = gaya tekan

A = Luas Penampang

$$P = 19257,0134820952 / 1,2710$$

$$= 15.151,073 Pa$$

$$M_{wvH} = 124 \times 20,4 \times 8,4151 \times$$

$$(0,19 \times 0,7794) \times 1 \times 1$$

$$= 390883092 N/m[1].$$

$$M_{wvS} = 124 \times 20,4 \times 8,4151 \times$$

$$-0,119(0,7794 + 0,7) \times 1$$

$$\times 0,9532$$

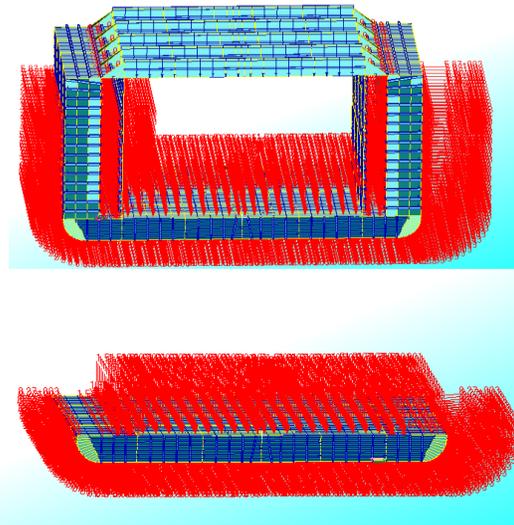
$$= -409426440 N/m[1].$$

4.5. Perhitungan Ukuran Profil

Profil adalah penyangga atau penguat pada konstruksi kapal. Sebelum menghitung ukuran profil yang baru, terlebih dahulu kita menghitung berat penambahan *inner shell*, LWT dan Saratkapal yang baru, setelahnya baru menghitung ukuran profil kapal. Adapun Rumus nya adalah:

$$W = n \times c \times a \times l^2 \times p \times k \quad (cm^3)$$

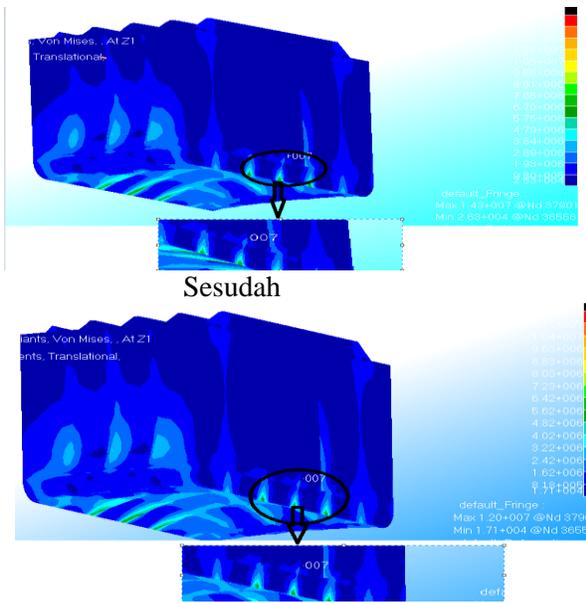
Reff : *BKI 2015 VOL II sec 9.B*



Gambar 4.1. Gambar Pembebanan Ring Construction Double Bottom.

4.6. Hasil Analisa *ring construction* Sebelum Modifikasi

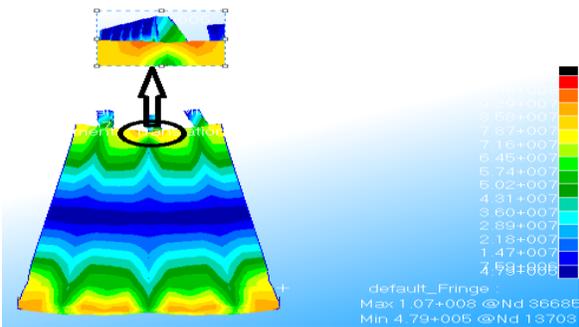
- **Kondisi Beban Statis Sebelum**



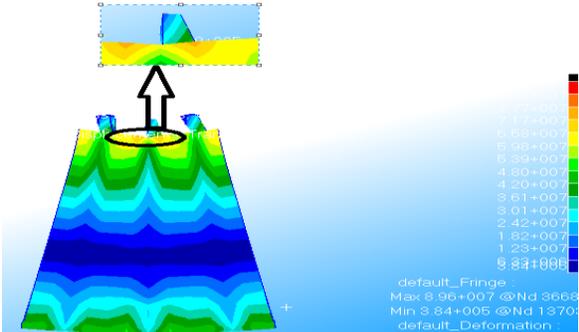
Gambar 4.2.. Hasil analisa beban statis

Hasil analisa pembebanan pada saat kondisi beban statis didapat tegangan maksimum sebesar $1,43 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau 14,3 Mpa (sebelum modifikasi) terletak pada Center Girder dengan bulkhead dan $1,20 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau 12,0 Mpa (sesudah modifikasi) terletak pada Center Girder dengan bulkhead

- **Kondisi Sagging**
Sebelum



- Sesudah

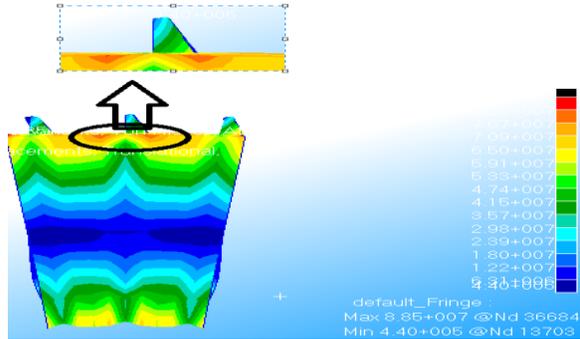


Gambar 4.3. Hasil analisa beban kondisi *Sagging*

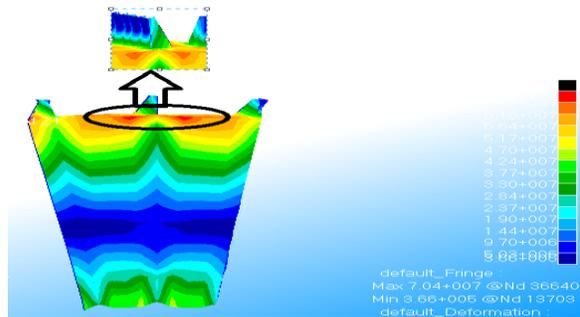
Hasil analisa pembebanan pada saat kondisi *Sagging* didapat tegangan maksimum sebesar $1,07 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ atau 107 Mpa (sebelum modifikasi) terletak pada Side Girder dan Center Girder dan $8,96 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau 89,6 Mpa (sesudah modifikasi) terletak pada Deck kapal, pertemuan antara profil T dan L memanjang kapal dengan web melintang kapal, tegangan maksimum berada diatas pada ke 2 model diatas merupakan akibat dari konstruksi yang kurang kuat

- **Kondisi Hogging**

- Sebelum



- Sesudah

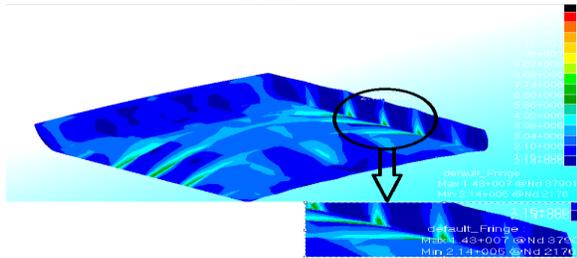


Gambar 4.4. Hasil Analisa Beban Kondisi *Hogging*

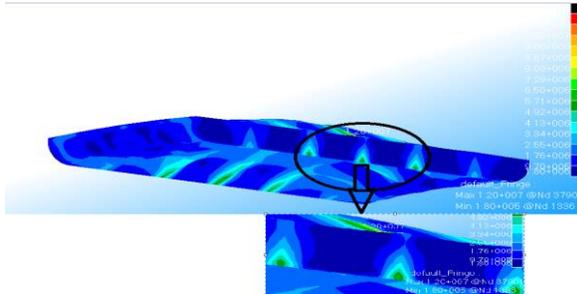
Hasil analisa pembebanan pada saat kondisi *Hogging* didapat tegangan maksimum sebesar $8,85 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau 88,5 Mpa (sebelum modifikasi) terletak pada deck longitudinal dengan bulkhead dan $7,04 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau 70,4 Mpa (sesudah modifikasi) terletak pada Deck kapal, pertemuan antara profil T dan L memanjang kapal dengan web melintang kapal, tegangan maksimum berada diatas pada ke 2 model diatas merupakan akibat dari konstruksi yang kurang kuat.

4.7. Hasil Analisa *Double Bottom* Sebelum Modifikasi

- **Pembebanan Statis**
Sebelum



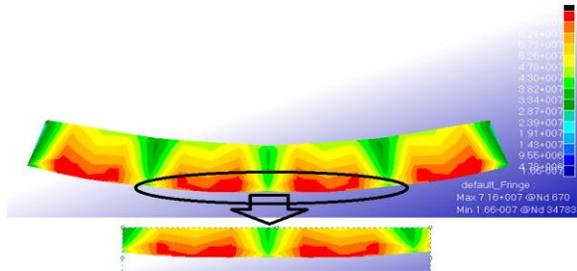
Sesudah



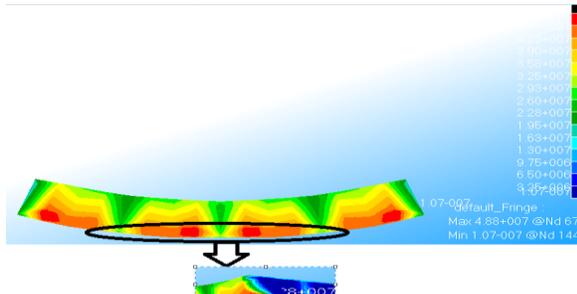
Gambar 4.5. Hasil analisa beban statis

Hasil analisa pembebanan pada saat kondisi beban statis didapat tegangan maksimum sebesar $1,43 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau 14,3 Mpa (sebelum modifikasi) terletak pada Side Girder dan Center Girder dan $1,2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau 12,0 Mpa (sesudah modifikasi) terletak pada Side Girder dan Center Girder

- **Pembebanan kondisi *Sagging***
Sebelum



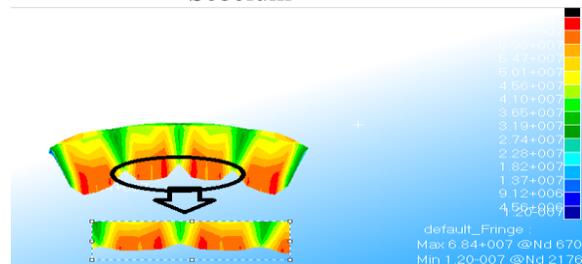
Sesudah



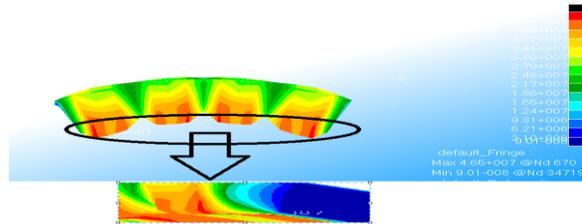
Gambar 4.6. Hasil analisa *Full load* kondisi *Sagging*

Hasil analisa pembebanan pada saat kondisi *Sagging* didapat tegangan maksimum sebesar $7,16 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau 71,6 Mpa (sebelum modifikasi) terletak pada Side Girder dan Center Girder, $4,88 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau 48,8 Mpa (sesudah modifikasi) pada model 1 terletak pada bilga dan plat bottom kapal, sedangkan pada model 2 terletak pada bilga kapal, tegangan maksimum pada ke 2 model diatas dikarenakan dari perbedaan konstruksi yaitu ketebalan plat.

- **Pembebanan kondisi *Hogging***
Sebelum



Sesudah



Gambar 4.7. Hasil analisa *Full load* kondisi *hogging*

Hasil analisa pembebanan pada saat kondisi *Hogging* didapat tegangan maksimum sebesar $6,84 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau 68,4 Mpa (sebelum modifikasi) terletak pada Plat bilga dengan Bottom longitudinal dan bulkhead, $4,65 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau 46,5 Mpa (sesudah modifikasi) terletak pada Plat bilga dengan Bottom longitudinal dan bulkhead, tegangan maksimum berada dialas pada ke 2 model diatas dikarenakan dari perbedaan konstruksi yaitu ketebalan plat dimana plat atas lebih tebal dari plat bawah.

4.8. Nilai Kekuatan

- **Nilai Kekuatan Berdasarkan Tegangan Ijin BKI**

Besarnya nilai kekuatan bisa dilihat dari faktor keamanan (*Factor of Safety*) dimana syarat faktor keamanan nilainya harus lebih dari 1 atau tegangan maksimum

lebih kecil dari tegangan ijin. Nilai tegangan ijin yang sesuai dengan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Tabel 4.1. Perhitungan *Factor of Safety* menurut tegangan rules BKI *Double Bottom* pada **ring konstruksi** sebelum modifikasi

Kondisi	σ_{mak}	Lokasi Nodal	σ_{ijin}	Fs	Ket
Statis	14,3	3790	190	13,2	Pass
Sagging	107	36685	190	1,74	Pass
Hogging	88,5	36640	190	1,82	Pass

Tabel 4.2. Perhitungan *Factor of Safety* menurut tegangan rules BKI *Double Bottom* pada **ring konstruksi** sesudah modifikasi

Kondisi	σ_{mak}	Lokasi Nodal	σ_{ijin}	Fs	Ket
Statis	12	3790	190	15,8	Pass
Sagging	89,6	36685	190	2,06	Pass
Hogging	70,4	36640	190	2,16	Pass

Tabel 4.3. Perhitungan *Factor of Safety* menurut tegangan rules BKI *Double Bottom* saja sebelum modifikasi

Kondisi	σ_{mak}	Lokasi Nodal	σ_{ijin}	Fs	Ket
Statis	14,3	3790	190	13,28	Pass
Sagging	71,6	673	190	2,65	Pass
Hogging	68,4	670	190	2,78	Pass

Tabel 4.4. Perhitungan *Factor of Safety* menurut tegangan rules BKI *Double Bottom* saja sesudah modifikasi

Kondisi	σ_{mak}	Lokasi Nodal	σ_{ijin}	Fs	Ket
Statis	12,0	3790	190	15,53	Pass
Sagging	48,8	673	190	3,89	Pass
Hogging	46,5	670	190	4,08	Pass

• Nilai Kekuatan Berdasarkan Kriteria Material

Besarnya nilai kekuatan bisa dilihat dari faktor keamanan (*Factor of Safety*) dimana syarat faktor keamanan nilainya harus lebih dari 1. Nilai *factor safety* (FS) dapat dihitung dengan rumus :

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

Dimana :

FS = *factor safety*

σ_{max} = tegangan maksimum yang terjadi
 σ_{yield} = kemampuan kekuatan luluh material

Kriteria baja grade KI-A36

Modulus elastisitas = 210 GPA

Ultimate stress = 400 N/mm²

Yield stress = 235 N/mm²

Tabel 4.5. Perhitungan *Factor of Safety* menurut kriteria bahan rules BKI *Double Bottom* pada **ring konstruksi** sebelum modifikasi

Kondisi	σ_{mak}	Lokasi Nodal	σ_{ijin}	Fs	Ket
Statis	14,3	8790	235	16,43	Pass
Sagging	107	36685	235	2,15	Pass
Hogging	88,5	36640	235	2,25	Pass

Tabel 4.6. Perhitungan *Factor of Safety* menurut kriteria bahan rules BKI *Double Bottom* pada **ring konstruksi** sesudah modifikasi

Kondisi	σ_{mak}	Lokasi Nodal	σ_{ijin}	Fs	Ket
Statis	12	3790	235	19,58	Pass
Sagging	89,6	36685	235	2,55	Pass
Hogging	70,4	36640	235	2,67	Pass

Tabel 4.7. Perhitungan *Factor of Safety* menurut kriteria bahan rules BKI *Double Bottom* saja sebelum modifikasi

Kondisi	σ_{mak}	Lokasi Nodal	σ_{ijin}	Fs	Ket
Statis	14,3	3790	235	16,43	Pass
Sagging	71,6	673	235	3,28	Pass

<i>Hogging</i>	68,4	670	235	3,44	Pass
----------------	------	-----	-----	------	------

Tabel 4.8. Perhitungan *Factor of Safety* menurut kriteria bahan rules BKI *Double Bottom* saja sesudah modifikasi

Kondisi	σ_{mak}	Lokasi Nodal	σ_{ijin}	Fs	Ket
Statis	12,0	3790	235	19,58	Pass
<i>Sagging</i>	48,8	673	235	4,81	Pass
<i>Hogging</i>	46,5	670	235	5,05	Pass

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Tegangan (*stress*) maksimum terbesar yang terjadi pada *Double bottom frame* 46-50 kapal *chemical carrier 13944 LTDW* ini sebesar 48,8 N/m² pada kondisi *sagging* model *Double Bottom* sesudah dimodifikasi
2. Tegangan Nilai SF (*factor of safety*) pada *Double Bottom frame* 46-50 dibawah ruang muat hasil modifikasi ini memiliki nilai yang berbeda tiap pembebanan dan kondisi. Nilai ini didapat dari nilai *factor of safety* baik berdasarkan tegangan ijin BKI maupun dari kriteria material. Pada *model* sesudah dimodifikasi secara *Double Bottom*, nilai kekuatan terbesar pada pembebanan statis yaitu sebesar 15,53 berdasarkan *rules* BKI dan 19,58 berdasarkan kriteria bahan BKI.
3. Letak daerah paling kritis terjadi pada tengah Deck kapal, pertemuan antara profil T dan L memanjang kapal dengan web melintang kapal, tegangan maksimum berada diatas pada ke 2 model diatas merupakan akibat dari konstruksi yang kurang kuat.

5.2 Saran

1. Pemodelan dengan menggunakan metode Elemen hingga sangat bergantung kepada jumlah elemen yang dipergunakan dan kesesuaian pemberian *constraint* dan *load* sesuai tempatnya pada suatu model. Sehingga untuk mendapatkan hasil pemodelan yang lebih baik hendaknya pembuatan model dilakukan dengan pembagian *mesh* yang lebih banyak lagi, terutama pada daerah yang

mengalami pemusatan tegangan. Dengan demikian hasil yang akan didapat mendekati kondisi sesungguhnya.

2. Perlu dilakukan optimasi kondisi pembebanan untuk mendapatkan pembebanan maksimum yang memungkinkan dari struktur ring konstruksi maupun konstruksi *double bottom frame* 46-50 dibawah ruang muat hasil modifikasi pada kapal *chemical carrier 13944 LTDW*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. 2014. "*Rules for Classification and Construction of Sea Going Steel Ship Volume II : Rules for Hull Edition 2014*," Jakarta : Biro Klasifikasi Indonesia
- [2] IACS . 20012. "Common Structural Rules for Bulk Carrier an Oil Tanker" London.
- [3] MARPOL 73/78-Anex 1. 2001" Regulation for the Prevention of Polution for Sewege from Ship".London.
- [4] MARPOL 73/78-Anex 2. 2001" Regulation for the Control of Polution by noxious Liquid Substances in bulk".London.
- [5] Muhamamad Kharis,Triwilaswandio.2014. "*Analisis Teknis dan Ekonomis Konversi Kapal Tanker Single Hull Menjadi Double Hull*",Tugas akhir, Program Studi S1 Teknik Perkapalan, ITS :Surabaya.
- [6] Popov, E.P. 1978. *Mechanics of Materials*, 2nd edition, New Jersey: Prentice-Hall
- [7] Prastyo, Yuli. 2015. *Analisa Kekuatan Konstruksi Modifikasi Double Bottom Akibat Alih Fungsi Pada Kapal Accomodation Work Barge (AWB) 5640 DWT" Dengan Metode Elemen Hingga*, Tugas Akhir, Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Undip: Semarang
- [8] Zaki, Ahmad Fauzan. 2014. *Buku Ajar Metode Elemen Hingga*, Semarang: Universitas Diponegoro