

KAJIAN TEKNIS DAN EKONOMIS KONSTRUKSI *SINGLE* DAN *DOUBLE SHELL* PADA 18.500 DWT *DRY CARGO VESSEL* DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM KOMPUTER YANG BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA DITINJAU DARI PENGGUNAAN MATERIAL, HARGA, BIAYA PEKERJA DAN DAYA MUAT KAPAL

Sukanto Jatmiko, Candra Sholeh Hermawan

Abstrak

Konstruksi *single* dan *double shell* memiliki kelebihan dan kekurangan dari segi teknis dan ekonomis. Dari segi teknis, kekuatan konstruksi *double shell* lebih baik dibandingkan konstruksi *single shell*. Sedangkan dari segi ekonomis, konstruksi *single shell* memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi dibandingkan konstruksi *double shell*.

Dalam tugas akhir ini akan dijelaskan tentang analisa beban statis yang dari analisa tersebut akan diketahui karakteristik dan letak tegangan terbesar dari struktur konstruksi *single* dan *double shell* berdasarkan skenario variasi kondisi keadaan kapal menggunakan metode elemen hingga. Hasil analisa menggunakan program komputer yang berbasis metode elemen hingga pada *Dry Cargo Vessel 18.500 DWT* menunjukkan selisih nilai faktor keamanan terendah (*safety of factor*) untuk stress tensor sebesar 3,08 pada konstruksi *single shell* dan 3,20 pada konstruksi *double shell* yang terjadi saat kondisi hogging. Sehingga dari segi teknis, konstruksi *single shell* memiliki faktor keamanan yang lebih rendah dibandingkan konstruksi *double shell*.

Hasil perhitungan menggunakan program Microsoft Office Excel menunjukkan bahwa konstruksi *double shell* menggunakan material plat dan profil 1.379.249,5 kg (54,38%) lebih banyak dibandingkan konstruksi *single shell* atau setara dengan Rp 13.769.953.250,00. Untuk selisih biaya pekerja senilai Rp 1.613.721.915,00 dan selisih volume ruang muat kapal sebesar 476.078 m³

Kata kunci : *single* dan *double shell*, teknis ekonomis, metode elemen hingga

I. Pendahuluan

Profit seringkali dijadikan *bottom line* (garis dasar) bagi perusahaan kapal dalam mengambil keputusan. Biaya material merupakan salah satu komponen yang membentuk biaya terbesar dalam pembangunan kapal. Pemilihan konstruksi kapal dengan menggunakan material yang lebih sedikit untuk meminimasi biaya material dengan memperhatikan rules yang berlaku adalah salah satu opsi yang memungkinkan untuk dilaksanakan.

Pada umumnya tender pembuatan kapal baru dapat dimenangkan apabila desain kapal yang dibuat mempunyai nilai teknis dan ekonomis yang lebih baik. Pihak pemilik kapal (owner) lebih cenderung memilih desain kapal baru yang lebih murah, kapasitas ruang muat yang lebih besar, biaya perawatan yang lebih murah serta masih memenuhi persyaratan rules

yang dipakai. Dengan mengurangi jumlah material pembuatan kapal maka dapat menekan biaya produksi kapal. Sehingga pemilihan konstruksi kapal adalah salah satu faktor yang menentukan harga pembuatan kapal.

Pemilihan desain konstruksi kapal merupakan tanggung jawab *naval architect* yang ditentukan pada tahap *concept design*. Konstruksi *single* dan *double shell* mempunyai kelebihan dan kekurangan dari segi teknis dan ekonomis. Pertimbangan-pertimbangan dalam menentukan desain konstruksi adalah dari segi teknis memenuhi persyaratan rules yang dipakai serta dari segi ekonomis kapal dapat memberikan *income* yang lebih besar.

Dengan cara membandingkan konstruksi *double* dan *single shell* dapat ditentukan seberapa besar selisih jumlah kebutuhan material

, harga material ,biaya pekerja ,dan volume ruang muat kapal .

Menurut Rules BKI dalam Peraturan Klasifikasi Dan Konstruksi Kapal Laut Baja Jilid II Peraturan Lambung Edisi 2006 Bulk Carrier Vessel diperbolehkan menggunakan konstruksi *single shell*. Sehingga dengan memakai konstruksi *single shell* maka dapat menekan biaya pembuatan ruang muat kapal. Kebutuhan material konstruksi *single shell* lebih sedikit dibandingkan *double shell* sehingga mengurangi biaya produksi pembuatan kapal.

Hal ini pula yang mendasari penulis melakukan kajian teknis dan ekonomis konstruksi *single* dan *double shell* pada 18.500 DWT DCV, yang merupakan sebuah nama proyek pembangunan kapal curah yang sedang dilaksanakan oleh galangan kapal PT. Jasa Marina Indah, Semarang yang di desain oleh PT. PAL Indonesia, Surabaya.

II. Permasalahan

Pada kajian teknis, penelitian tugas akhir ini akan dibatasi pada analisa kekuatan konstruksi *Single Side Sell* pada parallel midle body "18500 DWT DCV" dengan metode elemen hingga. Peranti lunak yang digunakan hanya sebatas alat pembuat model dan alat perhitungan yang menggunakan program MSC NASTRAN-PATRAN.

Perhitungan kekuatan konstruksi kapal meliputi Perhitungan beban, tegangan, modulus dan momen inersia sesuai dengan standar BKI (Biro Klasifikasi Indonesia). Pembahasan hasil analisa hanya untuk kekuatan konstruksi *single side shell* pada "18500 DWT DCV".

Kemudian permasalahan yang timbul apakah dengan desain konstruksi *single side shell* yang sudah ada pada ruang muat tersebut dapat menahan tegangan yang di berikan oleh muatan di dalamnya dan tegangan yang timbul akibat beban tekanan fluida eksternal yang tegak lurus bidang pelatnya. Kemudian permasalahan berlanjut, sejauh mana kekuatan konstruksi *single side shell* tersebut dalam menahan berbagai macam beban yang di terima.

Atau dengan kata lain penelitian tentang struktur kekuatan konstruksi *single side shell*

18.500 DWT DCV ini perlu diperhatikan, untuk menentukan :

1. Berapa nilai tegangan maksimum yang terjadi pada sistem konstruksi *single side shell* 18.500 DWT DCV ini.
2. Letak komponen konstruksi *single side shell* 18.500 DWT DCV yang paling kritis terhadap pembebanan maksimum.

Secara teknis permasalahan yang timbul apakah dengan desain konstruksi *single side shell* akan mendapatkan nilai kekuatan yang memenuhi peraturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

Kemudian secara ekonomis berapakah selisih jumlah kebutuhan material , harga material ,biaya pekerja ,dan volume ruang muat konstruksi *single shell* dibandingkan konstruksi *double shell* menggunakan program *Microsoft Office Excel*.

Atau dengan kata lain penelitian tentang konstruksi *double shell* 18.500 DWT DCV untuk menentukan nilai teknis dan ekonomis konstruksi *single shell* dibandingkan konstruksi *double shell*.

III. Konsep Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah suatu metode numerik yang cocok di gunakan dengan komputer digital, dengan metode ini suatu elastik kontinum dibagi – bagi (*discretized*) menjadi beberapa substruktur (elemen) yang kemudian dengan menggunakan matriks, defleksi dari tiap titik (*node*) akan dihubungkan dengan pembebanan, properti material, properti geometrik dan lain – lain.

etode elemen hingga telah digunakan secara luas untuk menyelesaikan berbagai persoalan mekanika dengan geometri yang kompleks. Beberapa hal yang membuat metode ini favorit adalah karena secara komputasi sangat efisien, memberikan solusi yang cukup akurat terhadap permasalahan yang kompleks dan untuk beberapa permasalahan metode ini mungkin adalah satu – satunya cara, tetapi karena analisa elemen hingga merupakan alat

untuk simulasi maka desain yang sebenarnya diidealisasikan dengan kualitas model desain. Model diharuskan sebisa mungkin mendekati aslinya agar hasil analisa juga mendekati hasil yang real.

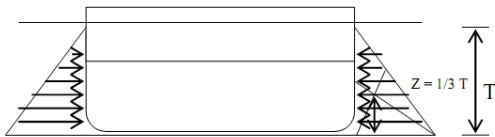
Tahap *Preprocessor* adalah tahap dimana dilakukan input – input gaya, tumpuan, properti material pada model *single* dan *double shell* yang sebelumnya telah dibuat dengan software MSC.PATRAN. Dari tahap ini dihasilkan file .BDF dimana merupakan file berisi *raw data* untuk selanjutnya dibaca oleh *solver*.

Tahap *Processing* adalah tahap dimana *raw data* (.BDF) dianalisa sedemikian rupa sehingga mengasilkan nilai berupa *output* nilai tegangan *von misses*. Pada tahap ini dihasilkan file .XDB dimana file tersebut berisi hasil akhir berupa nilai tegangan arah X,Y dan Z.

Tahap penyajian *Postprocessing* penting dilakukan untuk mempermudah pembacaan hasil tegangan maksimum dan letak terjadinya tegangan maksimum tersebut. Pada tahap ini didapat gambar kontur tegangan maksimum dan letak terjadinya lengkap beserta indeks warna untuk menunjukkan nilai tegangan yang terjadi.

IV. Pembahasan Masalah

4.1 Perhitungan Beban



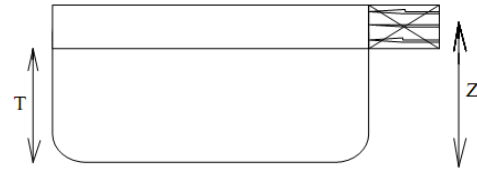
Gambar 4.1 Gambar pembebanan pada sisi kapal dibawah sarat

$$P_s = 10(T - Z) + P_o \times 4C_f \cdot \left(1 + \frac{Z}{T}\right) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (4-1)$$

$$P_o = 2,1 \cdot (C_b + 0,7) \cdot C_o \cdot C_L \cdot f \cdot C_{rw} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (4-2)$$

(BKI 2006 Vol. Sec. 4. B. 2. 1)

- Beban Sisi Kapal diatas garis sarat air.



Gambar 4.2 Gambar pembebanan pada sisi kapal diatas sarat

$$P_s = P_o \times C_f \frac{20}{(10 + Z - T)} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (4-3)$$

(BKI 2006 Vol. Sec. 4. B. 2. 1)

dimana,

$$Z = T + \frac{1}{2}(H-T)$$

1. Kondisi Berlayar Tanpa Muatan

$$P_{sa} = 21,22 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{sb} = 106,34 \text{ kN/m}^2$$

2. Kondisi Kapal Berlayar dengan Muatan Penuh

- Beban Dalam (muatan) = **75,15 kN/m²**

- Beban luar (hidrostatik) :
 $P_{sa} = 21,22 \text{ kN/m}^2$
 $P_{sb} = 106,34 \text{ kN/m}^2$

3. Kondisi Hogging

- Beban Dalam (muatan) = **75,15 kN/m²**

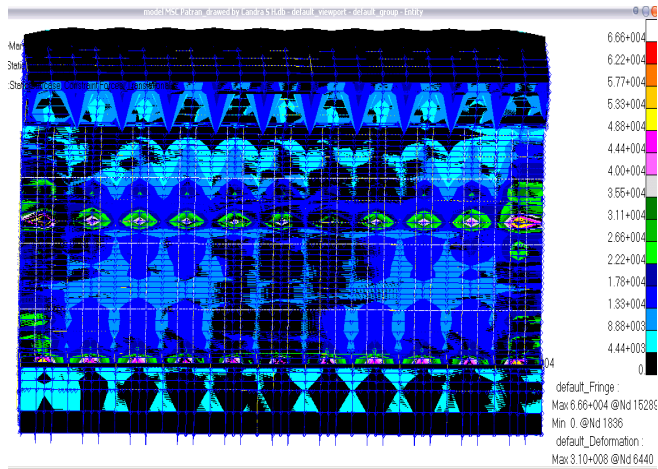
- Beban luar (hidrostatik) :
 $P_{sa} = 31,42 \text{ kN/m}^2$
 $P_{sb} = 155,31 \text{ kN/m}^2$

4. Kondisi Sagging

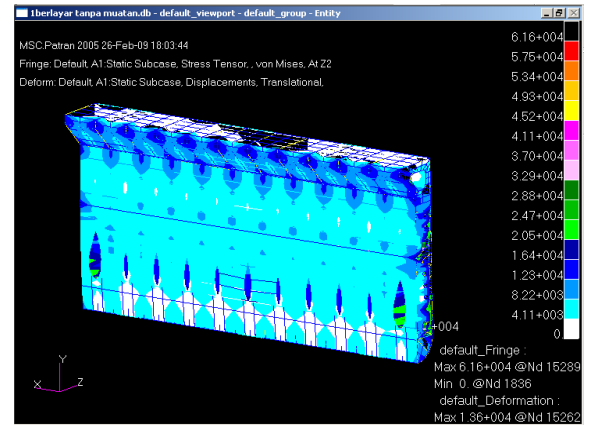
- Beban Dalam (muatan) = **75,15 kN/m²**

- Beban luar (hidrostatik) :
 $P_{sa} = 24,34 \text{ kN/m}^2$
 $P_{sb} = 126,41 \text{ kN/m}^2$

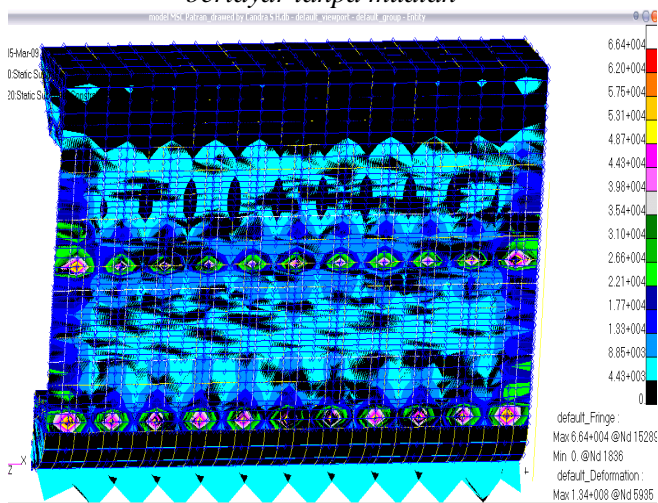
4.2 Hasil *Output result* Perhitungan Tegangan *Von Mises*



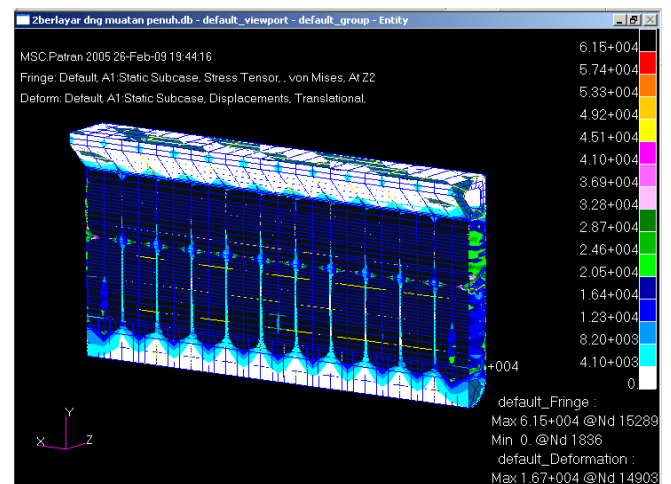
(a.1) Konstruksi *Single Shell_Kondisi kapal berlayar tanpa muatan*



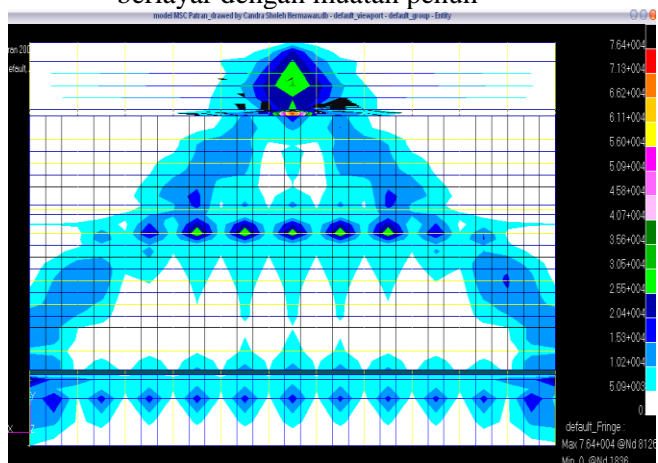
(a.2) Konstruksi *Double Shell_Kondisi kapal berlayar tanpa muatan*



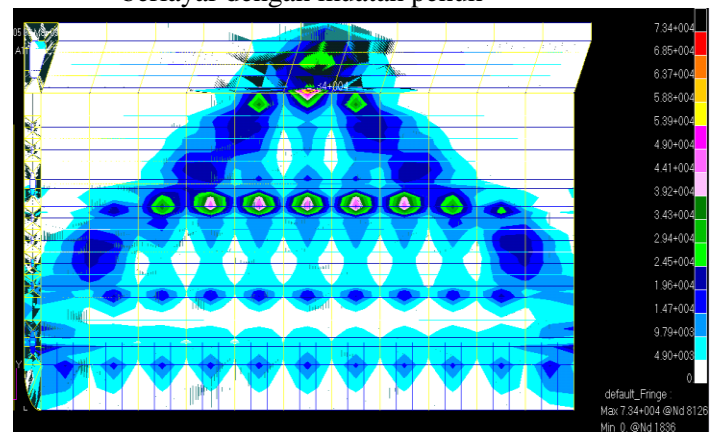
(b.1) Konstruksi *Single Shell_Kondisi kapal berlayar dengan muatan penuh*



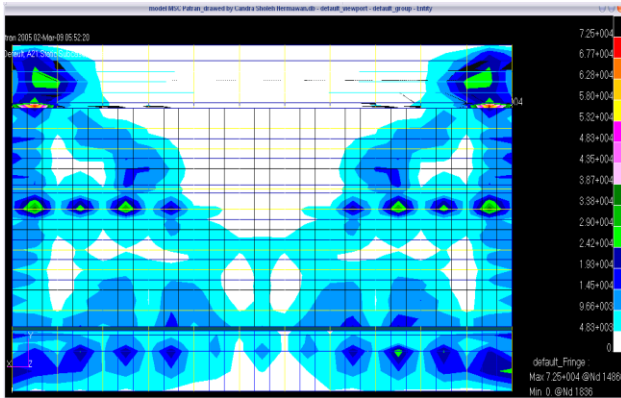
(b.2) Konstruksi *Double Shell_Kondisi kapal berlayar dengan muatan penuh*



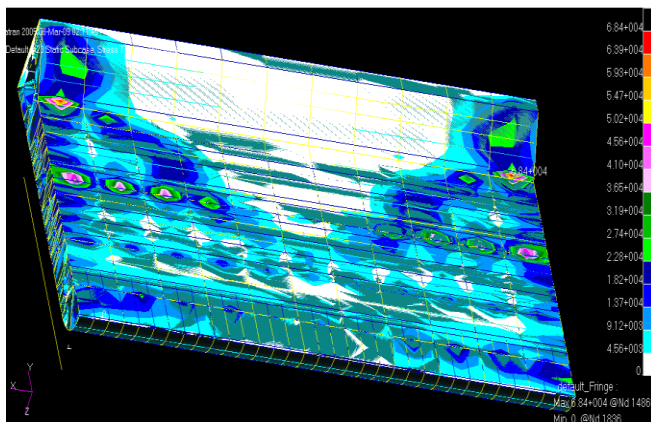
(c.1) Konstruksi *Single Shell_Kondisi kapal saat hogging dengan muatan penuh*



(c.2) Konstruksi *Double Shell_Kondisi kapal saat hogging dengan muatan penuh*



(d.1) Konstruksi *Single Shell*_Kondisi kapal saat sagging dengan muatan penuh



(d.2) Konstruksi *Double Shell*_Kondisi kapal saat sagging dengan muatan penuh

Tabel Perbandingan *Failure Criteria* tegangan Von Mises

Konstruksi *Single* Dan *Double Shell*

NO.	VARIASI KONDISI	STRESS TENSOR (Von mises_MPa) (Single Shell)	STRESS TENSOR (Von mises_MPa) (DoubleShell)	σ IJIN (MPa)	FS (Single Shell)	FS (Double Shell)
1	Tanpa muatan	66.6	61.6	175	3.53 (aman)	3.81 (aman)
2	Muatan penuh	66.4	61.5	175	3.54 (aman)	3.82 (aman)
3	Hogging	76.4	73.4	175	3.08 (aman)	3.20 (aman)
4	Sagging	72.5	68.4	175	3.24 (aman)	3.44 (aman)

4.3. Validasi Hasil Perhitungan

Tabel 4.3 Resume Validasi nilai defleksi

Kondisi Pembebanan	Maksimum deflection (mm) (FE)	Maksimum deflection (mm) (Analitik)	Validasi (%)
Kapal berlayar tanpa muatan	23.6	22.39	5.40
Kapal berlayar dengan muatan penuh	31.1	32.07	3.02
Kondisi <i>hogging</i>	31.1	32.07	3.02
Kondisi <i>sagging</i>	31.1	32.07	3.02

4.4. Perhitungan Kajian Ekonomis Pada Konstruksi *Single* Dan *Double Shell*

Tabel 4.4. Perhitungan Selisih Penggunaan Material Pada Konstruksi *Single* Dan *Double Side Shell*

MATERIAL	<i>SINGLE SHELL</i>	<i>DOUBLE SHELL</i>
Plat	1,045,708.0	2,091,416.0
Profil	111,180.5	444,722.0
Jumlah	1,156,888.5	2,536,138.0
Selisih	1,379,249.5	

Tabel 4.5. Perhitungan Selisih Harga Kebutuhan Material Pada Konstruksi *Single* Dan *Double Side Shell*

HARGA MATERIAL	<i>SINGLE SHELL</i>	<i>DOUBLE SHELL</i>
Plat	9,934,226,000.0	19,868,452,000.0
Profil	1,278,575,750.0	5,114,303,000.0
Jumlah	11,212,801,750.0	24,982,755,000.0
Selisih	13,769,953,250.0	

Tabel 4.6. Perhitungan Selisih Biaya Pekerja Pada Konstruksi *Single* Dan *Double Side Shell*

BIAYA PEKERJA	<i>SINGLE SHELL</i>	<i>DOUBLE SHELL</i>
Plat	1,223,478,360.0	2,446,956,720.0
Profil	130,081,185.0	520,324,740.0
Jumlah	1,353,559,545.0	2,967,281,460.0
Selisih	1,613,721,915.0	

4.7. Perhitungan Selisih Volume Ruang Muat Konstruksi *Single* Dan *Double Side Shell*

- a) Volume ruang muat konstruksi *single side shell* = 23.533,272 m³

- b) Volume ruang muat konstruksi *double side shell* = 23.057,194 m³
- c) Selisih volume ruang muat konstruksi *single* dan *double side shell* = 23.533,272 m³ – 23.057,194 m³ = **476.078 m³**

V. Kesimpulan

1. Nilai terbesar tegangan *von mises* untuk konstruksi *single shell* terjadi pada pembebanan kondisi hogging yaitu senilai **76.4 MPa** dimana daerah paling kritis terjadi dilokasi **node 8126**. Tegangan ini aman karena setelah dibandingkan dengan tegangan yield (σ_{yield}) bahan berdasarkan rules BKI sebesar 235 MPa memiliki faktor keamanan (*safety of factor*) sebesar **3.08** (faktor keamanan diatas 1). Sedangkan nilai terbesar tegangan *von mises* untuk konstruksi *double shell* terjadi pada pembebanan kondisi hogging yaitu senilai **73.4 MPa** dimana daerah paling kritis terjadi dilokasi **node 8126**. Tegangan ini juga aman karena setelah dibandingkan dengan tegangan yield (σ_{yield}) bahan berdasarkan rules BKI sebesar 235 MPa memiliki faktor keamanan (*safety of factor*) sebesar **3.20** (faktor keamanan diatas 1)
2. Perbandingan tegangan *von mises* konstruksi *single* dan *double shell*. Pada konstruksi *single shell* kondisi tanpa muatan senilai **66,6 MPa** (tegangan *von mises*) dan **3,53** (*safety of factor*), pada kondisi muatan penuh muatan senilai **66,4 Mpa** (tegangan *von mises*) dan **3,54** (*safety of factor*), pada kondisi hogging senilai **76,4 Mpa** (tegangan *von mises*) dan **3,08** (*safety of factor*), pada kondisi sagging senilai **72,5 Mpa** (tegangan *von mises*) dan **3,24** (*safety of factor*).

Sedangkan pada konstruksi *double shell* kondisi tanpa muatan **senilai 61,6 MPa** (tegangan *von mises*) dan **3,81** (*safety of factor*), pada kondisi muatan penuh senilai **61,5 MPa** (tegangan *von mises*)

dan **3,82** (*safety of factor*), pada kondisi hogging senilai **73,4 MPa** (tegangan *von mises*) dan **3,20** (*safety of factor*), pada kondisi sagging senilai **68,4 MPa** (tegangan *von mises*) dan **3,44** (*safety of factor*).

3. Selisih kebutuhan material antara konstruksi *single* dan *double shell* pada lambung sisi (*side shell*) bagian ruang muat kapal adalah kebutuhan material pada konstruksi *double side shell* (2.536.138 kg) dikurangi kebutuhan material pada konstruksi *single side shell* (1.156.888,5 kg) yaitu **1.379.249,5 kg**. Jadi konstruksi *double side shell* membutuhkan material **54,38%** lebih banyak dibandingkan konstruksi *single side shell*.
4. Selisih harga kebutuhan material antara konstruksi *single* dan *double shell* pada lambung sisi (*side shell*) bagian ruang muat kapal adalah harga kebutuhan material plat dan profil konstruksi *double side shell* (Rp 24.982.755.000,00) dikurangi harga kebutuhan material plat dan profil konstruksi *single side shell* (Rp 11.212.801.750,00) yaitu **Rp 13.769.953.250,00**. Jadi, konstruksi *double side shell* membutuhkan material dengan biaya **55,12 %** lebih mahal dibandingkan konstruksi *single side shell*.
5. Selisih biaya pekerja antara konstruksi *single* dan *double shell* pada lambung sisi (*side shell*) bagian ruang muat kapal adalah biaya pekerja material plat dan profil konstruksi *double side shell* (Rp 2.967.281.460,00) dikurangi biaya pekerja material plat dan profil konstruksi *single side shell* (Rp 1.353.559.545,00) yaitu **Rp 1.613.721.915,00**. Jadi, konstruksi *double side shell* membutuhkan biaya pekerja **54,38 %** lebih mahal dibandingkan konstruksi *single side shell*.

6. Selisih volume ruang muat pada konstruksi *single* dan *double shell* Adalah volume ruang muat konstruksi *Single side shell* (23.533,272 m³) dikurangi volume ruang muat konstruksi *double side shell* (23.057,194 m³) yaitu **476.078 m³**
7. Dari hasil analisa yang telah dilakukan Dapat ditarik kesimpulan bahwa secara teknis ,konstruksi *single shell* memiliki kekurangan yaitu nilai faktor keamanan (*safety of factor*) lebih kecil dibandingkan konstruksi *double shell* .Sedangkan secara ekonomis,konstruksi *single shell* mempunyai nilai ekonomis yang lebih tinggi dibandingkan konstruksi *double shell* Dry Cargo Vessel 18.500 DWT.
9. Tambunan, Sahrudin [2005], Modul Training Patran / Nastran, Departemen Pengembangan Sistem dan Metoda, PT. Dirgantara Indonesia, Bandung.
10. Voundouris, G., Manolis M., and Apostolos P. [2004], "Finite element modelling and strength analysis of hold No. 1 of bulk carriers", Dimitris Sevis, pp.1-26.

VI. Daftar Pustaka

1. Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. [2006], Rules for The Classification and Contruction of Sea Going Stell Ship Volume II: Rules for Hull edition 2006, Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta.
2. Eyres,D.J.[2001]. "Ship Construction".Oxford: Butterworth-Heinemann
3. Ghali, A. Dan Neville, A.M. [1978], Structural Analysis, 2nd. Edition, Chapman and Hall, London.
4. Hidajat, R Lullus Lambang G. [2005], Teori dan Penerapan Metode Elemen Hingga, LPP UNS dan UNS Press, Surakarta.
5. Popov,E.P. [1996]. "Mekanika Teknik ed.2".Jakarta:Erlangga
6. Rosyid, D.M. dan Setyawan, Dony [1999], Kekuatan Struktur Kapal, Pradnya Paramita, Jakarta.
7. Susatio, Yerri [2007], Solusi Elemen Hingga Berbasis Math CAD, ANDI, Yogyakarta.
8. Szilard Rudolph [1974], "Theory and Analysis of Plates, Classical and Numerical Methods", Prentice-Hall, Hawaii.