

STUDI PERANCANGAN SISTEM PENGGADINGAN KONSTRUKSI RUANG MUAT KAPAL *SUPER CONTAINER 18.000 TEUS (MALACCA-MAX)*

Amhar Wahyudi Harahap¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾, Hartono Yudo¹⁾
¹⁾Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Email : amhar.wh@gmail.com

Abstrak

Malacca-Max adalah sebuah jenis kapal *super container* yang digagas oleh Marco Scholtens, dengan muatan 18.000 teus yang dirancang melalui selat malaka dengan sarat maksimal 21 m. Dalam membangun suatu konstruksi kapal, sistem penggadingan (*framing system*) adalah salah satu faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam membangun suatu kapal. Persoalan utama dalam sistem penggadingan ialah membuat suatu konstruksi yang kokoh dan kuat dengan berat konstruksi yang ringan-ringannya. Secara khusus penelitian ini bertujuan merancang sistem penggadingan pada ruang muat kapal super container 18.000 teus (*malacca-max*), dimana model konstruksi dibuat dalam 2 rules (BKI dan ABS). Sistem scantling pada kedua model mengacu pada konstruksi *midship section malacca-max* yang sudah ada, *Maersk Triple E Class*. Hasil dari perancangan sistem penggadingannya, desain konstruksinya tidak jauh berbeda, perbedaannya terletak pada ukuran pelat dan profilnya saja. Untuk mengetahui desain sistem penggadingan pada kedua model cukup memenuhi dalam segi kekuatan struktur, maka kedua model dianalisa menggunakan software berbasis metode element hingga. Hasil analisa didapat nilai tegangan kedua model masih memenuhi, tidak melebihi batas nilai izin. Keunggulan dari model yang sudah dibuat, model BKI mempunyai nilai tegangan lebih kecil, sedangkan model ABS lebih efisien dalam penggunaan pelat dan profil. Kondisi terkritik pada kedua model terletak pada kondisi muatan penuh gelombang hogging trochoidal.

Kata Kunci: *Malacca-Max*, *Maersk Triple E Class* , Sistem Penggadingan, Metode Element Hingga, Nilai Tegangan

Malacca-Max is a kind of super container ships initiated by Marco Scholtens, with a cargo of 18,000 teus designed through the Malacca strait with a maximum laden 21 m. In building a ship's construction, framing system is one of the important factors to consider in building a ship. The main issue in framing system is to make a strong and sturdy construction with heavy construction lenient. In particular, this study aims to design a framing system the load space super container ships of 18,000 TEUs (malacca-max), where the model construction is made in two rules (BKI and ABS). Scantling system in both models the midship section refers to the construction of malacca-existing max. Results from framing system design, construction design is not much different, the difference lies in the size and profile plates only. To know framing system design in both models quite meet in terms of power structure, the two models are analyzed using methods based software finith element. The analysis results obtained stress value of both models still pass, does not exceed the value of permissible. The advantages of the model that has been created, a model BKI has a smaller stress value, while ABS models more efficient in the use of plates and profiles. Most critical condition on both models lies in the full load condition trochoidal wave hogging.

Keyword: *Malacca-Max*, *Maersk Triple E Class*, *framing system*, *Finith Element*, *Stress Value*

1. PENDAHULUAN

Industri kapal *container* telah berkembang pesat dan menjadi salah satu sektor pelayaran dunia yang utama dalam 40 tahun terakhir. Perkembangan teknologi mendorong untuk mengembangkan kapal jenis *container*, khususnya dalam segi ukuran kapal. Untuk memajukan perdagangan internasional dan perekonomian dunia maka dibuatlah kapal *container* dengan ukuran besar yakni kapal *container* dengan ukuran 18.000 teus dan sarat maksimal 21 meter yang dirancang khusus melewati perairan selat malaka, sehingga dinamakan *malacca-max*. Contoh kapal *container malacca-max* yang sudah ada yakni Maersk Line Triple E Class. [1]

Sistem Penggadingan (*framing system*) merupakan bagian dari konstruksi profil pada suatu kapal dan merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam membangun suatu kapal. Persoalan utama dalam sistem penggadingan ialah membuat suatu konstruksi yang kokoh dan kuat dengan berat konstruksi yang seringan-ringannya. Karena dengan konstruksi yang kuat tetapi ringan, maka kita akan mendapatkan daya muat yang besar sehingga hal ini akan menguntungkan, yaitu pada kapal niaga akan dapat mengangkut muatan yang lebih besar, sedangkan pada kapal perang akan memungkinkan penambahan kecepatan kapal dan jarak jelajah kapal akan menjadi lebih besar. [3]

Konstruksi teknik, bagian – bagian pelengkap suatu bangunan atau struktur harus diberi ukuran – ukuran fisik tertentu. Bagian – bagian tersebut harus diukur dengan tepat untuk dapat menahan gaya – gaya yang sesungguhnya atau yang mungkin akan dibebankan. Demikian pula, bagian – bagian suatu struktur komposit harus cukup tegar hingga tidak akan melentur atau melengkung secara berlebihan jika bekerja dibawah beban yang diberikan. Berdasarkan hal tersebut, penulis mencoba melakukan studi perancangan sistem penggadingan pada ruang muat kapal *super container* 18.000 teus (*malacca-max*), dimana model konstruksi dibuat 2 variasi dalam 2 rules (BKI dan ABS) untuk dibandingkan hasilnya. Dari hasil perancangan sistem penggadingannya, data akan diolah di PATRAN untuk pembuatan model dan analisa menggunakan NASTRAN.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Container Ship*

Container Ship adalah kapal yang berfungsi mengangkut barang yang sudah diatur di dalam peti-peti. Muatan peti kemas disamping di dalam palkah juga diletakkan di atas dek dengan pengikatan yang kuat, sehingga peti kemas tersebut tidak bergeser dari tempatnya semula pada saat berlayar. Dengan adanya muatan di atas geladak maka harus diperhatikan mengenai stabilitas kapal. Yang perlu diperhatikan ialah periode keolengan jangan sampai terlalu lincah, sebab membahayakan *container* yang ada di atas dek, lebih –lebih apabila sistim pengikatannya kurang sempurna. Konstruksi peti kemas dibuat sedemikian rupa sehingga barang-barang yang ada didalamnya terjamin keamanan dari kerusakan dan lain-lain. Kapal pengangkut peti kemas harus mempunyai fasilitas pelabuhan khusus *container*. [4]

2.2 *Malacca-Max Containership*

Pengiriman menggunakan *container* telah menjadi segment dengan pertumbuhan tercepat di dunia pelayaran selama 40 tahun terakhir, sehingga memacu inovasi ukuran dalam jenis kapal *container*. Hal ini memicu pertumbuhan ekonomi perdagangan internasional yang lebih efisien.

Dalam sebuah penelitiannya, Marco Scholtens menggagas *container carrier malacca-max*, sebuah kapal super *container* dengan muatan 18.000 teus yang dirancang melalui selat malaka dengan sarat maksimal 21 m. Ini menjadi parameter desain kapal *container* dunia, setelah *panamax* dan *suezmax*.

Pada tahun 1999, ketika konsep *malacca-max* dipublikasikan, pandangan publik terhadap konsep 18.000 teus bisa menjadi kenyataan, berdasarkan pertumbuhan perdagangan dari eropa ke negara timur dan keuntungan ekonomi yang besar dari sektor *container*, terutama selat malaka merupakan sektor penting perdagangan dunia.

Berdasarkan fakta dan asumsi, kapal *container malacca-max* yang dibandingkan pada tahun 1999 dengan tiga ukuran kapal *container* lainnya yakni kapal *panamax* 4.500 teus, kapal ukuran 8.000 teus, dan kapal *suez-max* 12.000 teus, menunjukkan bahwa kapal *malacca-max*

menawarkan skala ekonomi sekitar 30 % diatas kapal *panamax* dan 16 % dengan kapal ukuran 8.000 teus. Penelitian ini dimulai dengan menelaah perkembangan kapal *container* dan pelayaran. Faktor lain yang mempengaruhi yakni parameter desain kapal, seperti tuntutan oprasional pemilik, dan karakteristik jalur pelayaran. [2]

Dalam konsep desainnya, bentuk lambung *malacca-max* mempunyai ukuran utama sebagai berikut :

- Loa = 400.00 m
- Lwl = 390.00 m
- Lpp = 380.00 m
- B = 60.00 m
- B double side = 5 m
- T = 21.00 m
- D = 35.00 m
- H db = 2,75 m
- Cb = 0.62
- Displ. = 313,571 tons
- DWT = 242,800 tons
- Capacity = 18,154 TEU
- Vschip = 25.00 kn. (at 90% MCR)



Gambar. 1 *Malacca-Max Maersk Line Triple E Class*

2.3 Sistem Penggadingan (Framing System) Pada Ruang Muat

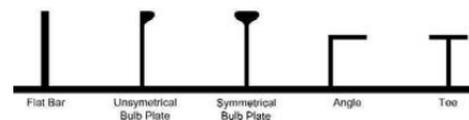
Sistem Penggadingan (Framing System) merupakan bagian dari konstruksi profil pada suatu kapal merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam membangun suatu kapal. Persoalan utama dalam konstruksi kapal ialah membuat suatu konstruksi yang kokoh dan kuat dengan berat konstruksi yang seringannya. Karena dengan kontruksi yang kuat tetapi ringan, maka kita akan mendapatkan daya muat yang besar sehingga hal ini akan menguntungkan, yaitu pada kapal niaga akan dapat mengangkut muatan

yang lebih besar, sedangkan pada kapal perang akan memungkinkan penambahan kecepatan kapal dan jarak jelajah kapal akan menjadi lebih besar. [5]

Kontruksi kapal harus dibuat kuat dan kokoh sehingga dapat menahan / mengatasi gaya dialami oleh kapal pada waktu berlayar. Untuk itu maka kontruksi lambung kapal dibuat (disusun) merupakan suatu kerangka yang terdiri dari :

- Kekuatan hubungan melintang ialah bagian lambung kapal yang membantu kekuatan melintang kapal. Misalnya : gading-gading, balok geladak, dinding kedap air.
- Kekuatan hubungan memanjang ialah lambung kapal yang membantu kekuatan memanjang kapal. Misalnya : Lunas, penguat dasar memanjang, menguat kulit.
- Kekuatan hubungan melintang ialah bagian lambung kapal yang membantu kekuatan melintang kapal. Misalnya : gading-gading, balok geladak, dinding kedap air.

Dalam pembangunan suatu kapal material yang dipakai salah satu faktor penting. Penggunaan material yang tepat akan mempengaruhi kekuatan kapal tersebut. Struktur material yang biasa digunakan umumnya seperti pelat, profil, pipa, forgings, dan castings. [3]



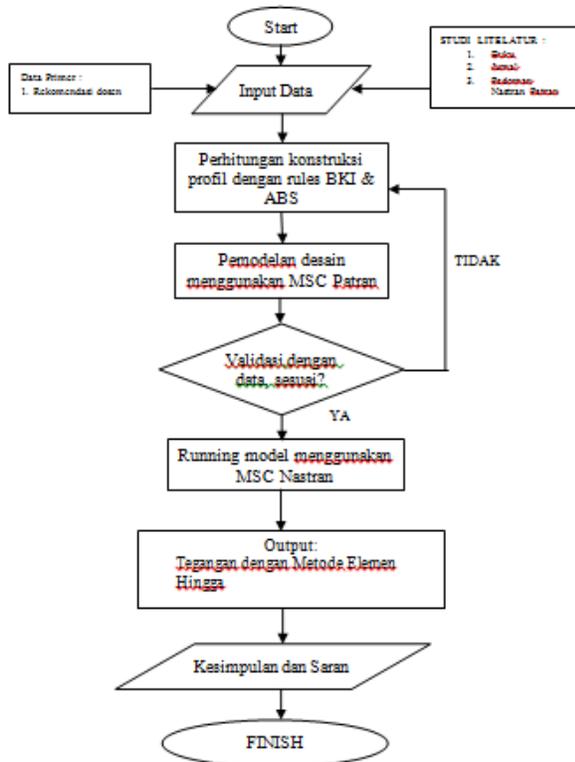
Gambar. 2 Macam-macam profil pada kapal

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flow Chart 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. Penelitian ini dimulai dengan tahap pengumpulan data – data penunjang untuk penelitian seperti buku konstruksi kapal. Setelah data terkumpul dilakukan perhitungan sistem penggadingannya menggunakan 2 variasi rules. Setelah perhitungan selesai, selanjutnya dibuat modelnya menggunakan software berbasis metode element hingga. Selanjutnya adalah proses

validasi model, apabila model valid dilanjutkan analisa kekuatan model. Dari hasil analisa didapatkan nilai tegangan yang dilanjutkan dengan kesimpulan dan saran.



Gambar. 3 Diagram alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Konstruksi Profil Berdasarkan Aturan BKI

Jarak gading :

$$a = 2,5 \times 380 + 410 \text{ (mm)} = 1360 \text{ mm} = 1350 \text{ mm. [6]}$$

Tabel. 1 Ukuran profil pada ruang muat BKI

No	Nama Profil	Ukuran Profil (mm)
1	Side Longitudinal	L 530 x 12 x 150 x 30
2	Stiffener senta sisi	L 350 x 10,5 x 120 x 16
3	SL box girder	T 430 x 35 x 120 x 35
4	Pembujur box girder	T 320 x 21 x 80 x 21
5	Deck longitudinal	L 80 x 10 x 65 x 10
6	SDG	T 140 x 12 x 75 x 12
7	CDG	T 140 x 16 x 75 x 16
8	Stiffener palkah	L 250 x 9 x 90 x 13
9	Webstiffener palkah	T 360 x 17 x 75 x 17
10	Stiffener wrang kedap air	L 300 x 11,5 x 100 x 16
11	Bottom longitudinal	L 630 x 12 x 200 x 30
12	Inner Bottom longitudinal	L 635 x 12 x 150 x 35
13	Stiffener bulkhead	L 425 x 12 x 120 x 25
14	Webtiffener bulkhead	T 600 x 26 x 350 x 26
15	Trv Stringer bulkhead	T 580 x 25 x 400 x 25

Tabel. 2 Ukuran pelat pada ruang muat BKI

No	Nama Pelat	Tebal Pelat
1	Pelat sisi dibawah garis air	26 mm
2	Pelat sisi diatas garis air	12 mm
3	Pelat sheer strake	13 mm
4	Senta sisi	14 mm
5	Pelintang sisi	14 mm
6	Pelat geladak	15 mm
7	Pelat alas dan bilga	30 mm
8	Pelat lunas	32 mm
9	CG	23 mm
10	SG	17 mm
11	Pelat tutup palkah	14 mm
12	Pelat tanktop	22 mm
13	Solid floor	21 mm
14	Sekat kedap air	16 mm

4.2 Perhitungan Konstruksi Profil Berdasarkan Aturan ABS

Jarak gading :

$$S = 2.08L + 438 \text{ mm, untuk } L \leq 270 \text{ m}$$

$$S = 1000 \text{ mm, untuk } 270 < L \leq 427 \text{ m. [8]}$$

Tabel. 3 Ukuran profil pada ruang muat ABS

No	Nama Profil	Ukuran Profil (mm)
1	Side Longitudinal	L 450 x 12 x 150 x 25
2	Stiffener senta sisi	L 200 x 9 x 90 x 12
3	SL box girder	T 430 x 20 x 145 x 20
4	Pembujur box girder	T 280 x 11 x 65 x 11
5	Deck longitudinal	L 200 x 9 x 90 x 12
6	SDG	T 200 x 14 x 75 x 14
7	CDG	T 200 x 14 x 75 x 14
8	Stiffener palkah	L 200 x 9 x 90 x 12
9	Webstiffener palkah	T 320 x 16 x 75 x 16
10	Stiffener wrang kedap air	L 300 x 11,5 x 100 x 16
11	Bottom longitudinal	L 325 x 11,5 x 120 x 15
12	Inner Bottom longitudinal	L 325 x 11,5 x 120 x 15
13	Stiffener bulkhead	L 375 x 10,5 x 120 x 18
14	Webtiffener bulkhead	T 360 x 22 x 100 x 22
15	Trv Stringer bulkhead	T 360 x 22 x 100 x 22

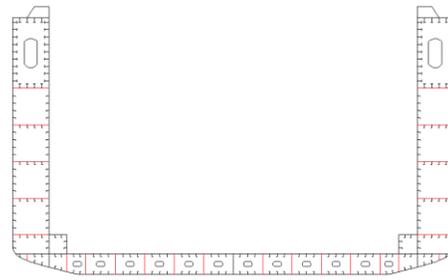
Tabel. 4 Ukuran pelat pada ruang muat ABS

No	Nama Pelat	Tebal Pelat
1	Pelat sisi dibawah garis air	20 mm
2	Pelat sisi diatas garis air	20 mm
3	Pelat sheer strake	20 mm
4	Senta sisi	9 mm
5	Pelintang sisi	8,5 mm
6	Pelat geladak	11 mm
7	Pelat alas dan bilga	20 mm
8	Pelat lunas	22 mm
9	CG	27 mm
10	SG	20 mm
11	Pelat tutup palkah	14 mm
12	Pelat tanktop	20 mm
13	Solid floor	20 mm
14	Sekat kedap air	10 mm

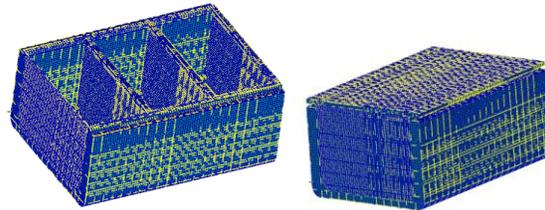
4.3 Hasil Permodelan



Gambar. 4 Permodelan *Midship Section* pada Autocad (BKI)



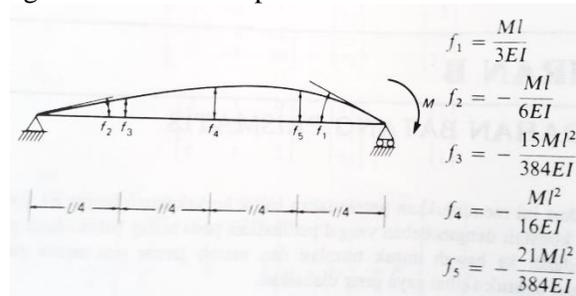
Gambar 5. Permodelan *Midship Section* pada Autocad (ABS)



Gambar. 6 Permodelan Ruang Muat pada Msc Patran

4.4 Validasi Model

Untuk dapat dikatakan mendekati benar, maka persentase validitasnya harus dibawah 10% agar nilai tersebut dapat dikatakan valid.



Gambar. 7 Rumus mekanika teknik untuk mencari deformasi

Tabel. 5 Hasil validasi

VALIDASI BKI	MEKTEK	3,55809E-11	94,71
	SOFTWARE	3,37E-11	
VALIDASI ABS	MEKTEK	3,62069E-11	95,56
	SOFTWARE	3,46E-11	

4.5 Perhitungan Tekanan

- Tekanan Hidrostatik Air Laut

$$P = \rho g h$$

ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

h = kedalaman permukaan (21 m)

$$P = 1025 \times 9,8 \times 21$$

$$= 210945 \text{ Pa}$$

- Tekanan Air Ballast (*Double Bottom*)

BKI

$$P = \rho g h$$

ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

h = tinggi db (2 m)

$$P = 1025 \times 9,8 \times 2$$

$$= 20090 \text{ Pa}$$

- Tekanan Air Ballast (*Double Bottom*)

ABS

$$P = \rho g h$$

ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

h = tinggi sarat db (2,8 m)

$$P = 1025 \times 9,8 \times 2,8$$

$$= 28126 \text{ Pa}$$

- Tekanan Air Ballast (*Wink Ballast Tank*)

BKI

$$P = \rho g h$$

ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

h = tinggi wbt (24,191 m)

$$P = 1025 \times 9,8 \times 24,191$$

$$= 242998,59 \text{ Pa}$$

- Tekanan Air Ballast (*Wink Ballast Tank*)

ABS

$$P = \rho g h$$

ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

h = tinggi wbt (22,591 m)

$$P = 1025 \times 9,8 \times 22,591$$

$$= 226926,595 \text{ Pa}$$

- Tekanan Muatan

$$P = F/A$$

Beban di atas *tanktop*

Berat 1 container = 30480 kg

Berat total per ruang muat

$$= 30480 \times 468 = 14264640 \text{ kg}$$

F = massa total x g

$$= 14264640 \times 9,8 = 139793472 \text{ N}$$

A = Luasan yang di tumpu

$$= p \times l$$

$$= 24,384 \times 45,3162 = 1104,99 \text{ m}^2$$

$$P = 139793472 / 1104,99 = 126511,07 \text{ pa}$$

Beban di atas *raised tank*

Berat total per ruang muat

$$= 30480 \times 24 = 731520 \text{ kg}$$

F = massa total x g

$$= 731520 \times 9,8 = 7168896 \text{ N}$$

A = Luasan yang di tumpu

$$= p \times l$$

$$= 24,384 \times 2,4384 = 59,46 \text{ m}^2$$

$$P = 7168896 / 59,46 = 120566,7 \text{ pa}$$

Beban di atas *hatch cover*

Berat total per ruang muat

$$= 30480 \times 352 = 10728960 \text{ kg}$$

F = massa total x g

$$= 10728960 \times 9,8 = 105143808 \text{ N}$$

A = Luasan yang di tumpu

$$= p \times l$$

$$= 24,384 \times 60 = 1463,04 \text{ m}^2$$

$$P = 105143808 / 1463,04 = 71866,67 \text{ pa}$$

4.6 Kondisi Pembebanan

- Loading Condition I

Pada kondisi ini ruang muat dan hatch cover terisi penuh container dan kondisi sarat sesuai dengan sarat yang direncanakan.

- Loading Condition II

Pada kondisi ini hanya ruang muat saja yang terisi penuh dan kondisi sarat berada 2/3 T.

- Loading Condition III

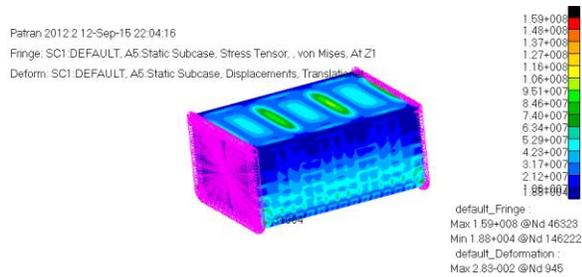
Pada kondisi ini ruang muat dikosongkan dan kondisi sarat 0,9 T

4.5 Hasil Analisa Kekuatan

a. Analisa Terhadap Beban Muatan

- Loading Condition I (Model BKI)

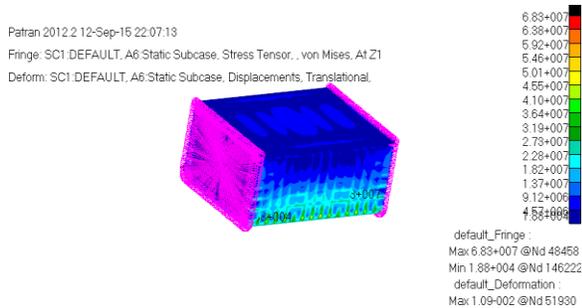
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $1,59 \times 10^8$ Pa pada *node* @46323. Tegangan maksimal terjadi pada senta sisi yang mendapat tekanan besar dari air laut dan wing ballast.



Gambar 8. LC 1 (Model BKI)

- **Loading Condition 2 (Model BKI)**

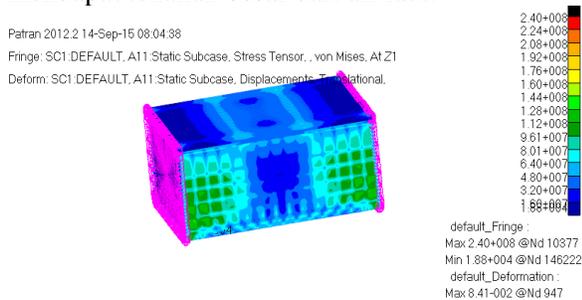
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $6,83 \times 10^7$ Pa pada *node* @48458. Tegangan maksimal terjadi pada sentsa sisi yang mendapat tekanan besar dari air laut dan wing ballast.



Gambar 9. LC 2 (Model BKI)

- **Loading Condition 3 (Model BKI)**

Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $2,40 \times 10^8$ Pa pada *node* @10377. Tegangan maksimal terjadi pada solid floor yang mendapat tekanan besar dari air laut.

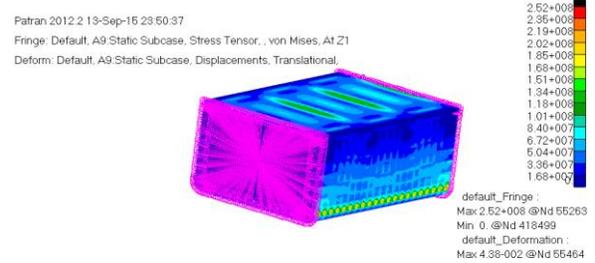


Gambar 10. LC 3 (Model BKI)

- **Loading Condition 1 (Model ABS)**

Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $2,52 \times 10^8$ Pa pada *node* @55263. Tegangan maksimal terjadi pada daerah bilga

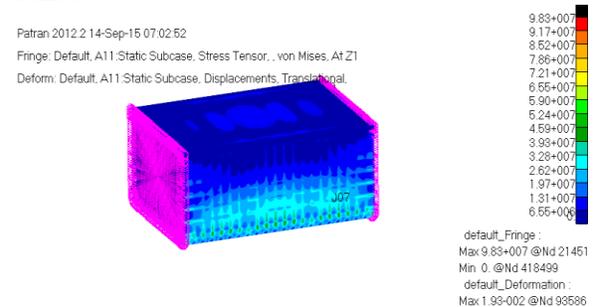
yang mendapat tekanan besar dari tekanan air laut.



Gambar 11. LC 1 (Model ABS)

- **Loading Condition 2 (Model ABS)**

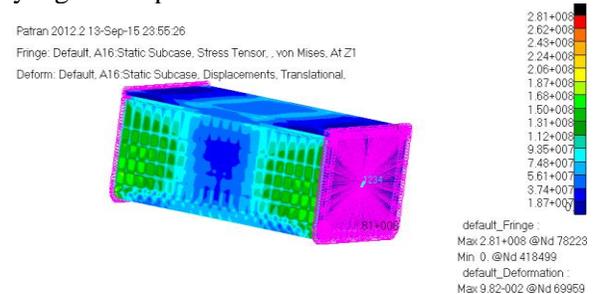
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $9,83 \times 10^7$ Pa pada *node* @21451. Tegangan maksimal terjadi pada sentsa sisi yang mendapat tekanan besar dari air laut dan wing ballast.



Gambar 12. LC 2 (Model ABS)

- **Loading Condition 3 (Model ABS)**

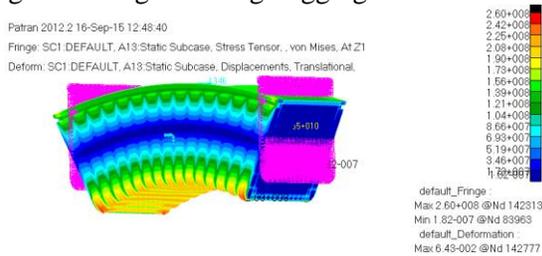
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $2,81 \times 10^8$ Pa pada *node* @78223. Tegangan maksimal terjadi pada center girder yang mendapat tekanan besar dari air laut.



Gambar 13. LC 3 (Model ABS)

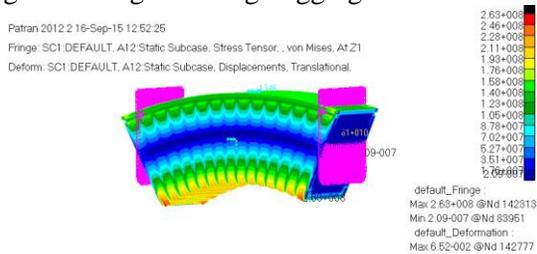
b. Analisa Terhadap Gelombang Air Laut

- Gelombang Hogging Sinusoidal (BKI)
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $2,60 \times 10^8$ Pa pada node @142313. Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan antara pelat alas dan pembujur alas yang mendapat pengaruh dari gelombang hogging.



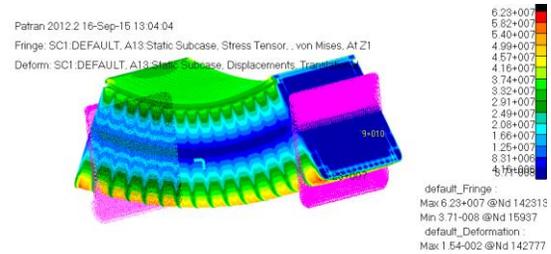
Gambar 14. Hogging Sinusoidal (BKI)

- Gelombang Hogging Trochoidal (BKI)
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $2,63 \times 10^8$ Pa pada node @142313. Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan antara pelat alas dan pembujur alas yang mendapat pengaruh dari gelombang hogging.



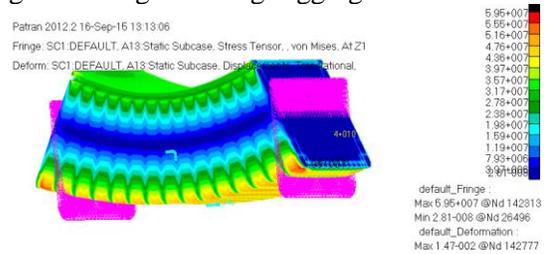
Gambar 15. Hogging Trochoidal (BKI)

- Gelombang Sagging Sinusoidal (BKI)
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $6,23 \times 10^7$ Pa pada node @142313. Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan antara pelat alas dan pembujur alas yang mendapat pengaruh dari gelombang sagging.



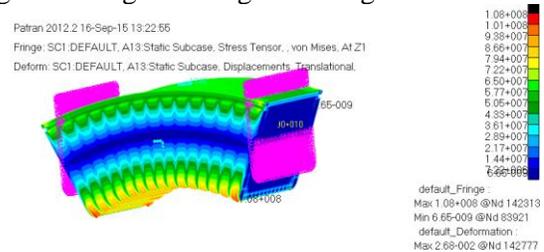
Gambar 16. Sagging Sinusoidal (BKI)

- Gelombang Sagging Trochoidal (BKI)
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $5,95 \times 10^7$ Pa pada node @142313. Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan antara pelat alas dan pembujur alas yang mendapat pengaruh dari gelombang sagging.



Gambar 17. Sagging Trochoidal (BKI)

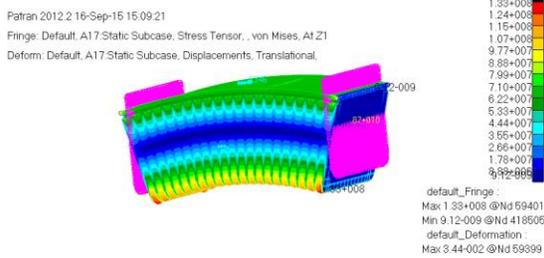
- Air Tenang (Model BKI)
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $1,08 \times 10^8$ Pa pada node @142313. Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan antara pelat alas dan pembujur alas yang mendapat pengaruh dari gelombang air tenang.



Gambar 18. LC 3 (Model BKI)

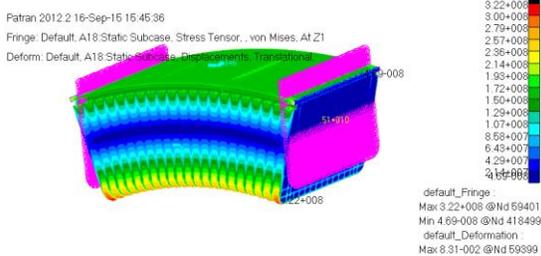
- Air Tenang (Model ABS)
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $1,33 \times 10^8$ Pa pada node @59401. Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan antara

pelat alas dan pembujur alas yang mendapat pengaruh dari gelombang air tenang.



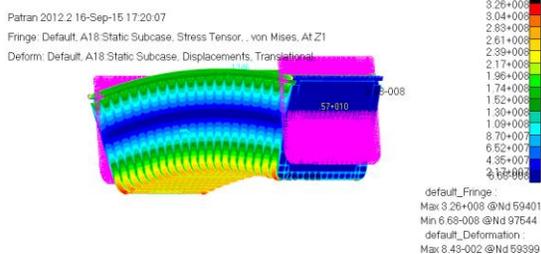
Gambar 19. Air Tenang (Model ABS)

- Gelombang Hogging Sinusoidal (ABS)
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $3,22 \times 10^8$ Pa pada node @59401. Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan antara pelat alas dan pembujur alas yang mendapat pengaruh dari gelombang hogging.



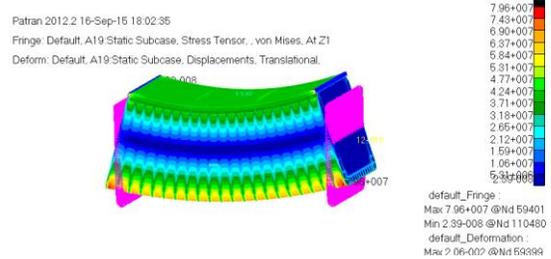
Gambar 20. Hogging Sinusoidal (ABS)

- Gelombang Hogging Trochoidal (ABS)
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $3,26 \times 10^8$ Pa pada node @59401. Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan antara pelat alas dan pembujur alas yang mendapat pengaruh dari gelombang hogging.



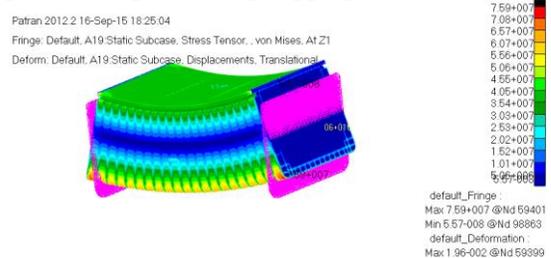
Gambar 21. Hogging Trochoidal (ABS)

- Gelombang Sagging Sinusoidal (ABS)
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $7,96 \times 10^7$ Pa pada node @59401. Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan antara pelat alas dan pembujur alas yang mendapat pengaruh dari gelombang sagging.



Gambar 22. Sagging Sinusoidal (ABS)

- Gelombang Sagging Trochoidal (ABS)
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $7,59 \times 10^7$ Pa pada node @59401. Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan antara pelat alas dan pembujur alas yang mendapat pengaruh dari gelombang sagging.



Gambar 23. Sagging Trochoidal (ABS)

Tabel 6. Perhitungan *Safety Factor loading condition* menurut tegangan ijin

Loading Condition	Node	Tegangan Max (N/mm ²)	Tegangan Ijin (N/mm ²)	Safety Factor	Keterangan	
LC 1	BK1	46323	159	287,88	1,81	ok
	ABS	55263	252	341,25	1,35	ok
LC 2	BK1	48458	68,3	287,88	4,21	ok
	ABS	21451	98,3	341,25	3,47	ok
LC 3	BK1	10377	240	287,88	1,20	ok
	ABS	78223	281	341,25	1,21	ok

Tabel 7. Perhitungan *Safety Factor bending moment* menurut tegangan ijin

Loading Condition		Node	Tegangan Max (N/mm ²)	Tegangan Izin (N/mm ²)	Safety Factor	Keterangan
Air Tenang	BKI	142313	108	287,88	2,67	ok
	ABS	59401	133	341,25	2,57	ok
Hogging Sinusoidal	BKI	142313	260	287,88	1,11	ok
	ABS	59401	322	341,25	1,06	ok
Hogging Trochoidal	BKI	142313	263	287,88	1,09	ok
	ABS	59401	326	341,25	1,05	ok
Sagging Sinusoidal	BKI	142313	62,3	287,88	4,62	ok
	ABS	59401	79,6	341,25	4,29	ok
Sagging Trochoidal	BKI	142313	59,5	287,88	4,84	ok
	ABS	59401	75,9	341,25	4,50	ok

Tabel 8. Perhitungan *Safety Factor loading condition* menurut kriteria bahan

Loading Condition		Node	Tegangan Max	Tegangan Izin	Safety Factor	Keterangan
LC 1	BKI	46323	159	390	2,45	ok
	ABS	55263	252	390	1,55	ok
LC 2	BKI	48458	68,3	390	5,71	ok
	ABS	21451	98,3	390	3,97	ok
LC 3	BKI	10377	240	390	1,63	ok
	ABS	78223	281	390	1,39	ok

Tabel 9. Perhitungan *Safety Factor bending moment* menurut kriteria bahan

Loading Condition		Node	Tegangan Max	Tegangan Izin	Safety Factor	Keterangan
Air Tenang	BKI	142313	108	390	3,61	ok
	ABS	59401	133	390	2,93	ok
Hogging Sinusoidal	BKI	142313	260	390	1,50	ok
	ABS	59401	322	390	1,21	ok
Hogging Trochoidal	BKI	142313	263	390	1,48	ok
	ABS	59401	326	390	1,20	ok
Sagging Sinusoidal	BKI	142313	62,3	390	6,26	ok
	ABS	59401	79,6	390	4,90	ok
Sagging Trochoidal	BKI	142313	59,5	390	6,55	ok
	ABS	59401	75,9	390	5,14	ok

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Hasil perancangan sistem penggadingan kedua model tidak jauh berbeda desain strukturnya, perbedaan hanya terletak pada ukuran pelat dan profilnya saja. Hasil pada analisa tegangan menggunakan metode element hingga pada kedua model terletak pada *loadcase* yang sama.
2. Hasil penelitian ini, kedua model sudah memenuhi kekuatan strukturnya berdasarkan tegangan izin masing-masing. Pada model BKI, tegangan paling tinggi yakni 263 mpa pada node 142313 sedangkan model ABS

tegangan paling tinggi yakni 326 mpa pada node 59401.

3. Pada kedua model, tegangan paling tinggi terletak pada kondisi muatan penuh gelombang hogging trochoidal.

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 menjadi mengalami pemusatan tegangan. Dengan demikian hasil yang akan didapat mendekati kondisi sesungguhnya.
2. Perlu dilakukan kajian *fatigue* dari struktur konstruksi ruang muat *malacca-max*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Bureu Of Shipping, *Rules For Building And Classing : Rules Part 3 : Hull Construction And Equipment*, Houston : ABS, 2014
- [2] Biro Klasifikasi Indonesia, *Rules For The Clasification and Construction of Seagoing Stell Ships : Rules For Hull V.2*, Jakarta : Biro Klasifikasi Indonesia, 2009.
- [3] Eyres, DJ, 2001, *Ship Construction*, Plymouth, Butterworth-Heineman
- [4] Ghali, A., Neville, A.M. 1985. *Analisa Struktur Edisi Kedua*, Jakarta: Penerbit Erlangga
- [5] Indra Kusna Djaja, dkk., 2008, Teknik Konstruksi Kapal Baja Jilid 1, Jakarta, Dinas Pendidikan dan Kebudayaan
- [6] <http://www.maritimeworld.web.id/2010/11/sistem-penutupan-palkah-kapal-container.html>
- [7] <https://nautica463.wordpress.com/2012/11/11/konstruksi-kapal-pada-midship-section-kapal/>
- [8] <http://pelautlusiana.blogspot.com/2013/03/pokok-pokok-konstruksi-kapal.html>

- [9] Lamb, Thomas, 2003, *Ship Design and Construction Vol 1 &2*, Hamburg.
- [10] Rawson, KJ, 2001, *Basic Ship Theory*, London, Longman Group
- [11] Van Dokkum, Klass, 2003, *Ship Knowledge Modern Encyclopedia*, Netherlands, Dokmar
- [12] Wijmolst, Niko, Scholtens, Marco, Waals, Frans, 1999, *Malacca-Max : The Ultimate Container Carrier*, Netherlands, Delf University
- [13] Wijmolst, Niko, Wergeland, Tor, 2009, *Shipping Innovation*, Netherlands, IOS Press