

PERBANDINGAN KEKUATAN KONSTRUKSI LAMBUNG MONOHULL DENGAN MONOMARAN PADA KAPAL RO-RO 5000 GT

Angga Pradipta, Ahmad Fauzan Zakki, Hartono Yudo¹⁾

¹⁾Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : prdpngg16@gmail.com

Abstrak

Rancang bangun lambung kapal merupakan hal yang penting dalam membuat kapal karena merupakan dasar perhitungan stabilitas kapal, besarnya tahanan kapal yang tentunya berdampak pada kecepatan kapal rancangan, konsumsi bahan bakar, besaran daya mesin serta draft/ sarat kapal untuk menghitung kedalaman yang diperlukan dalam kaitannya dengan kolam pelabuhan yang akan disinggahi serta kedalaman alur pelayaran yang dilalui oleh kapal tersebut. Desain monomaran merupakan desain lambung yang baru sehingga perlu dilakukan beberapa analisis dan pengujian seperti lazimnya kapal desain monohull maupun lambung kembar pada umumnya. Hal ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi dan karakteristik tentang kapal tipe monomaran. Penelitian ini menganalisa kekuatan struktur Monohull dan Monomaran yang diberikan tekanan hidrostatik dan hidrodinamik sesuai dengan distribusi yang terdapat dalam *Common Structural Rules* menggunakan FEM. Dalam proses analisa menggunakan *software Msc. Nastran Patran*, kami mendapatkan hasil tegangan maksimum yang terkena tekanan hidrostatik sebesar 125 N/mm² untuk lambung monohull dan deformasi 3,98 cm. Pada kondisi H1 dan H2 arah gelombang yang datang dari arah depan (head sea) yang menyebabkan sagging maupun hogging sebesar 77 N/mm² untuk monohull dan 70 N/mm² , pada kondisi F1 dan F2 arah gelombang yang datang dari arah belakang (following sea) yang menyebabkan sagging maupun hogging sebesar 136 N/mm² untuk monohull dan 133 N/mm² untuk Monomaran n, pada kondisi R1 dan R2 pada saat rolling maximum sebesar 136 N/mm² untuk Monohull dan 132 N/mm² pada untuk MonoMaran, pada kondisi P1 dan P2 pada saat pressure maximum sebesar 154 N/mm² . dan untuk Monomaran sebesar 144 N/mm² Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah nilai tegangan ijin menurut ketentuan ABS yaitu sebesar 180 N/mm².

Kata kunci : *MonoMaran, Common Structural Rules, MSc Nastran Patran*.

Abstract

The design of the hull is essential in making the ship because it is the basis for calculating the stability of the ship, the magnitude of the resistance calculation, which would have an impact on the speed of the ship design, fuel consumption, the amount of engine power and draft of the ships to calculate the depth required in connection with an ports will be visited as well as the depth of the shipping channel traversed by the ship. Monomaran design is a new hull design that needs to be done some analysis and testing as usual monohull vessel or hull designs are generally. It aims to provide recommendations on ship type and characteristics monomaran. This study analyzes the structural strength given Monomaran monohull and hydrostatic and hydrodynamic pressure in accordance with the distribution contained in the *Common Structural Rules* using FEM. In the process of analysis using *software Msc. Nastran Patran*, we get the maximum stress affected by the hydrostatic pressure of 125 N / mm² for the hull monohull and deformation of 3.98 cm. On the condition H1 and H2 direction of the waves coming from the front (head sea) which causes sagging and hogging of 77 N / mm² for monohull and 70 N / mm², on condition of F1 and F2 directions wave coming from the back (following sea) which causes sagging and hogging 136 N/mm² for monohull and 133 N/mm² for Monomaran, on the condition R1 and R2 at the time of rolling maximum 136 N/ mm² for monohull and 132 N / mm² to MonoMaran, on condition P1 and P2 when the maximum pressure of 154 N / mm². and to Monomaran of 144 N / mm² The maximum strees is below the allowable stress values in accordance with the provisions of ABS is equal to 180 N/ mm².

Keyword : *MonoMaran, Common Structural Rules, MSc Nastran Patran*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lambung kapal atau dalam bahasa Inggris disebut hull adalah badan dari perahu atau kapal. Lambung kapal menyediakan daya apung (Bouyancy) yang mencegah kapal dari tenggelam yang dirancang agar sekecil mungkin menimbulkan gesekan dengan air, khususnya untuk kapal dengan kecepatan tinggi [1]. Baru-baru ini Holland Delft University of Technology telah mengembangkan sebuah inovasi desain monomaran hull. Konsep desain ini disebut The Dutch ballast-free Monomaran concept yang merupakan tindak lanjut dari kontes desain yang didukung oleh Dutch Maritime Network [2]. Monomaran adalah desain lambung gabungan antara monohull dan catamaran. Inovasi desain lambung tipe monomaran ini menjadi sebuah inovasi yang menarik dan berbeda sehingga perlu dilakukan berbagai penelitian dan pengujian yang berkelanjutan untuk mendukung dan menjadikan inovasi desain monomaran menjadi alternatif desain lambung kapal yang populer selain tipe monohull dan catamaran.

Berdasarkan hal tersebut penulis mencoba melakukan studi konversi lambung Monohull menjadi MonoMaran pada kapal penyebrangan atau kapal Ro-Ro (Roll-On Roll-Off). Penulis memilih kapal Ro-Ro karena pemilihan kapal jenis Ro-Ro ini adalah karena kapal Ro-Ro sangat berperan besar dan secara umum bersentuhan langsung dengan masyarakat Indonesia yang notabene adalah masyarakat negara kepulauan yang menggunakan Ro-Ro sebagai kapal penyebrangan antarpulau atau sungai yang mengangkut muatan berupa kendaraan seperti truk, mobil dan sepeda motor serta penumpang. Selain itu, jumlah kapal Ro-Ro di Indonesia juga tergolong banyak baik yang dikelola swasta maupun BUMN dan biasanya kapal jenis ini memakai jenis lambung Monohull.

Kali ini penulis akan mencoba membandingkan kekuatan lambung jenis Monohull dengan MonoMaran dan penulis mencoba melakukan studi perancangan sistem penggadingan pada lambung kapal. Konversi ini dilakukan dengan rules ABS dan kemudian dibandingkan hasilnya. Nantinya manakah

jenis lambung tersebut yang lebih baik dari segi kekuatannya, data tersebut akan diolah di PATRAN untuk pembuatan model dan analisa menggunakan NASTRAN.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian tentang kekuatan konstruksi jenis lambung MonoMaran perlu diperhatikan, untuk menentukan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana desain sebuah kapal tipe Monohull setelah dikonversi menjadi MonoMaran ?
2. Bagaimana perbandingan analisa antara kedua lambung tersebut ?

1.3 Tujuan Masalah

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir “Perbandingan Kekuatan Konstruksi Lambung Monohull dengan MonoMaran Pada Kapal Ro-Ro” adalah :

- Melakukan desain studi perancangan sistem penggadingan konstruksi lambung MonoMaran
- Mengetahui perbedaan hasil analisa model Monohull dengan MonoMaran baik dari segi gambar teknik maupun hasil analisisnya

1.4 Batasan Masalah

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini permasalahan akan dibatasi sebagai berikut :

1. Konversi yang dilakukan hanya pada bagian lambungnya
2. Permodelan hanya bentuk lambung.
3. Permodelan dilakukan dengan menggunakan MSC Patran.
4. Analisa model dilakukan dengan menggunakan MSC Nastran.
5. Kapal yang digunakan sebagai objek penelitian adalah kapal Ro-Ro Kapal Penyebrangan 5000 GT milik ASDP
6. Penggadingan menggunakan Rules ABS
7. Beban hidrodinamik yang digunakan pada saat kondisi sarat penuh dengan persamaan EDWs sebagai berikut:

- a. H1 dan H2 (*Head Sea*)
- b. F1 dan F2 (*Following Sea*)
- c. P1 dan P2 (*Pressure Maximum*)
- d. R1 dan R2 (*Roll Motion*)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ro-Ro (Roll On-Roll Off)

Kapal Ro-Ro adalah kapal yang bisa memuat kendaraan yang berjalan masuk ke dalam kapal dengan penggerakannya sendiri dan bisa keluar dengan sendiri juga, sehingga disebut sebagai kapal roll on - roll off atau disingkat Ro-Ro. Oleh karena itu, kapal ini dilengkapi dengan pintu rampa yang dihubungkan dengan moveble bridge atau dermaga apung ke dermaga[3].

2.2 Monohull

Kapal monohull adalah desain khas yang kebanyakan orang bayangkan ketika memikirkan kapal. Keuntungan dari monohull adalah bahwa kapal bisa memotong melalui gelombang berat dengan mudah. Dengan membelah melalui gelombang bukan dengan berjalan di atas ombak, kapal ini mampu melaju jauh lebih lancar melalui air. Salah satu kekurangan dari desain monohull adalah bahwa itu harus menggunakan ballast untuk stabilitas. Ballast bisa terdiri dari hampir semua dan apapun yang mungkin berada dalam kapal dan mengimbangi setiap angin atau gelombang yang mungkin mencoba untuk membalikan perahu. Kekurangannya, terletak pada kenyataan bahwa kecuali ballast kapal terdiri dari produk yang akan mengapung, kapal akan tenggelam jika itu terlalu banyak air yang masuk [1]

2.3 Monomaran

Holland Delft University of Technology telah mengembangkan sebuah inovasi desain monomaran hull. Konsep desain ini disebut The Dutch ballast-free Monomaran concept yang merupakan tindak lanjut dari kontes desain yang didukung oleh Dutch Maritime Network. Monomaran adalah desain model lambung yang menyerupai gabungan antara monohull dan catamaran. Kelebihan dari konsep Dutch MonoMaran adalah menghasilkan sarat yang relatif besar pada muatan ringan atau kosong akibat bagian bawah kapal atau bottom yang

dilekuk ke atas. Bentuk lambung monomaran ini memiliki keuntungan lain yaitu bahwa cargo hold yang berbentuk kotak persegi panjang bisa tetap dipertahankan, yang memungkinkan konsep ini dapat digunakan untuk kapal serbaguna seperti Ro-Ro dan kapal container[2].

2.4 Beban (Load)

2.4.1. Hydrostatic Pressure (Tekanan Hidrostatik)

Perhitungan besar tekanan eksternal (tekanan hidrostatik air laut) dan tekanan internal (muatan) diperlukan untuk menentukan pembebanan pada permodelan kapal yang telah dibuat .

a. 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 (m)

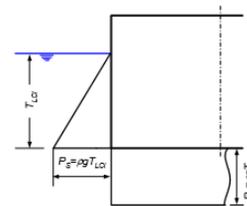
b. Tekanan Muatan/Ballast

$$P = \rho g h$$

ρ = massa jenis muatan/ballast (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

h = kedalaman permukaan (m)



Gambar 1. Pembebanan untuk *pressure* hidrostatik

c. Tekanan Muatan

$$P = F/A$$

F = Gaya (N)

A = Luasan yang ditumpu (m²)

2.4.2. Hydrodynamic Pressure (Tekanan Hidrodinamik)

Tekanan hidrodinamik menggunakan gelombang regular yang menghasilkan respon setara dengan nilai respon panjang dari sebuah komponen beban yang dianggap menjadi dominan dengan anggota struktur ditetapkan oleh *Equivalent Design*

Waves (EDWs) yang terdiri sebagai berikut:

- a. H1 H2 (Head Sea) dan F1 F2 (Following Sea)

Tekana Hidrodinamik PH dan PF untuk load cases H1,H2,F1 dan F2 disegala titik pada hull di bawah waterline diperoleh dengan satuan kN/m² dari table 1 Distribusi pressure P_{f2} dapat dilihat pada gambar 2 [4].

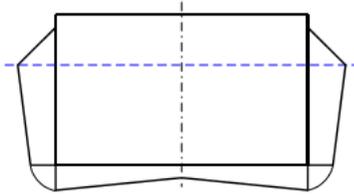
Tabel 1 Tekanan Hidrodinamik Untuk Load Cases H1, H2, F1 dan F2

Load Cases	Tekanan Hidrodinamik dalam kN/m ²
H1	P _{H1} = -k ₁ k _p P _{HF}
H2	P _{H2} = k ₁ k _p P _{HF}
F1	P _{F1} = -P _{HF}
F2	P _{F2} = P _{HF}

Dengan persamaan sebagai berikut (CSR For Bulk Carriers Chp 4 Sec 5) :

$$P_{HF} = 3 f_p f_{nl} C \sqrt{\frac{L+\lambda-125}{L}} \left(\frac{z}{TLCi} + \frac{|2y|}{B} + 1 \right)$$

1) dengan $\frac{|2y|}{B} \leq 1$ dan z diambil tidak lebih dari TLCi



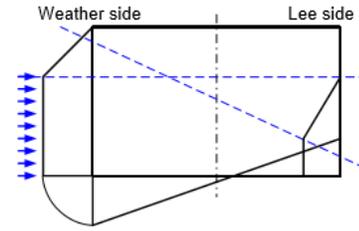
Gambar 2 Distribusi pressure P_{f2} pada midship

- b. R1 dan R2 (Rolling Motion)

R terjadi pada saat gelombang regular ketika gerakan roll menjadi maksimum (EDW “R”). Tekana Hidrodinamik P_R untuk load cases R1 dan R2 disegala titik pada hull di bawah waterline diperoleh dengan satuan kN/m². Distribusi pressure P_{R1} dapat dilihat pada gambar 3 dengan persamaan di bawah ini (CSR For Bulk Carriers Chp 4 Sec 5) [4] :

$$P_{R1} = f_{nl} \left(10 y \sin \theta + 0,88 f_p C \sqrt{\frac{L+\lambda-125}{L}} \left(\frac{|2y|}{B} + 1 \right) \right)$$

$$P_{R2} = -P_{R1}$$



Gambar 3 Distribusi pressure P_{R1} pada midship

- c. P1 dan P2 (Pressure Maximum)

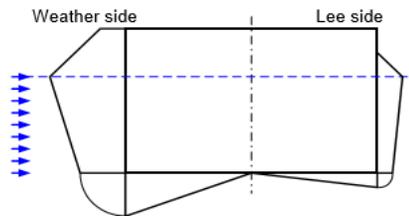
Tekana Hidrodinamik P_p untuk load cases P1 dan P2 disegala titik pada hull di bawah waterline diperoleh dengan satuan kN/m² dari table 2, dari rumus dibawah ini. Distribusi pressure P_{p1} dapat dilihat pada gambar 4[4].

Tabel 2 Tekanan Hidrodinamik Untuk Load Cases P1 dan P2

Load Cases	Tekanan Hidrodinamik dalam kN/m ²	
	Weater Side	Lee Side
P1	P _{p1} = P _p	P _{p1} = P _p /3
P2	P _{p2} = -P _p	P _{p2} = -P _p /3

Dengan persamaan sebagai berikut (CSR For Bulk Carriers Chp 4 Sec 5) :

$$P_p = 4,5 f_p f_{nl} C \sqrt{\frac{L+\lambda-125}{L}} \left(2 \frac{|z|}{TLCi} + 3 \frac{|2y|}{B} \right)$$



Gambar 4 Distribusi pressure P_{p1} pada midship

3. METODOLOGI

3.1 Materi Penelitian

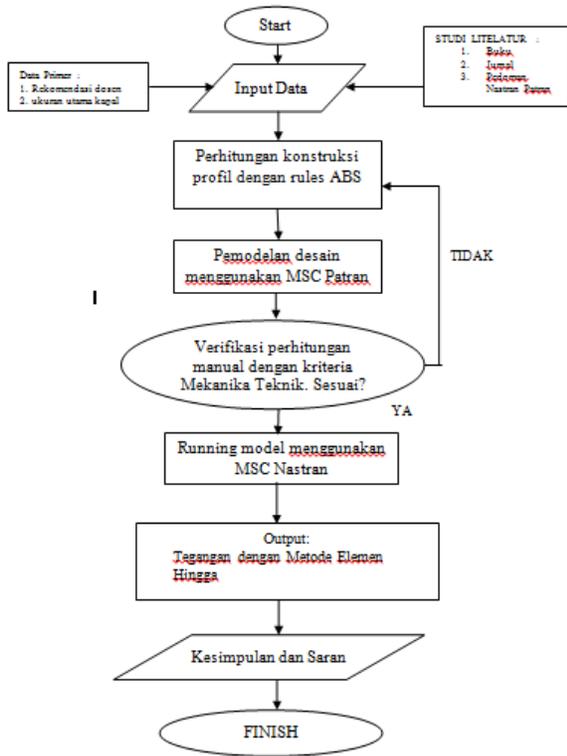
Materi penelitian yang dimaksud dalam penelitian ini meliputi data- data yang akan di proses dalam penelitian antara lain :

- Data ukuran utama kapal.
- Perhitungan konstruksi kapal

3.2 Diagram Alir

Metodologi penelitian adalah kerangka dasar dari tahapan penyelesaian tugas akhir.

Metodologi tersebut mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan tugas akhir ini. Tahapannya digambarkan dalam flowchart berikut:



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

4. PEMBAHASAN

4.1. Pembuatan Model

Dalam penentuan konstruksi yang akan direncanakan, dilakukan perhitungan section modulus berdasarkan rules ABS[5]. Dari nilai modulus yang didapat akan menentukan scantling serta ukuran profil dan pelat yang akan dipakai.

- Tabel 2 Ukuran Plat Monohull

No	Nama Plat	Tebal (mm)
1	alas	12
2	bilga	12
3	center girder	11
4	side gieder	8
5	floor	8
6	sisi	12
7	sheer strake	13
8	geladak	8
9	buklhead	5

- Tabel 3 Ukuran profil Monohull pada bagian belakang

No	Nama Profil	Tebal (mm)
1	alas dan balik	180x25x8
2	main frame	140x19x8
3	longitudinal beam	140x19x7
4	stiffner	100x15.5x7
5	web frame	250x13 165x13
6	sentasi sisi	150x10 115x10
7	deck transverse	190x12 135x12
8	center deck girder	180x10 100x10
9	side deck girder	180x11 120x11
10	web stiffner	165x10 100x10

- Tabel 4 Ukuran profil Monohull pada bagian tengah

No	Nama Profil	Tebal (mm)
1	alas dan balik	180x25x8
2	main frame	140x19x8
3	longitudinal beam	140x19x7
4	stiffner	100x15.5x7
5	web frame	250x13 170x13
6	sentasi sisi	155x10 120x10
7	deck transverse	190x12 140x12
8	center deck girder	185x10 100x10
9	side deck girder	180x11 125x11
10	web stiffner	165x10 100x10

- Tabel 5 Ukuran profil Monohull pada bagian depan

No	Nama Profil	Tebal (mm)
1	alas dan balik	180x25x8
2	main frame	140x19x7
3	longitudinal beam	140x19x7
4	stiffner	100x15.5x7
5	web frame	250x13 165x13
6	sentasi sisi	150x10 115x10
7	deck transverse	180x10 100x10
8	center deck girder	180x10 100x10
9	side deck girder	160x9 100x9
10	web stiffner	165x10 100x10

- Tabel 6 Ukuran plat Monomaran

No	Nama Plat	Tebal (mm)
1	alas	12
2	bilga	12
3	center girder	11
4	side gieder	8
5	floor	8
6	sisi	12
7	sheer strake	13
8	geladak	8
9	buklhead	5

- Tabel 7 Ukuran profil Monomaran pada bagian belakang

No	Nama Profil	Tebal (mm)
1	alas dan balik	180x25x9
2	main frame	140x19x9
3	longitudinal beam	140x19x7
4	stiffner	100x15.5x7
5	web frame	250x13 170x13
6	sentas sisi	150x10 120x10
7	deck transverse	195x12 130x12
8	center deck girder	180x10 105x10
9	side deck girder	180x11 125x11
10	web stiffner	165x10 100x10

- Tabel 8 Ukuran profil Monomaran pada bagian tengah

No	Nama Profil	Tebal (mm)
1	alas dan balik	180x25x8
2	main frame	160x22x7
3	longitudinal beam	140x19x7
4	stiffner	100x15.5x7
5	web frame	255x13 170x13
6	sentas sisi	250x13 165x13
7	deck transverse	195x12 140x12
8	center deck girder	180x10 110x10
9	side deck girder	185x11 125x11
10	web stiffner	165x10 100x10

- Tabel 9 Ukuran profil Monomaran pada bagian depan

No	Nama Profil	Tebal (mm)
1	alas dan balik	180x25x8
2	main frame	140x19x7
3	longitudinal beam	140x19x7
4	stiffner	100x15.5x7
5	web frame	225x10 150x10
6	sentas sisi	150x10 120x10
7	deck transverse	180x10 105x10
8	center deck girder	180x10 105x10
9	side deck girder	160x9 105x9
10	web stiffner	165x10 100x10

4.2 Perhitungan Tekanan

Perhitungan besar tekanan eksternal (tekanan hidrostatik/hidrokinamik air laut) dan tekanan internal (muatan) diperlukan untuk menentukan pembebanan pada permodelan kapal yang telah dibuat.

1. Tekanan Hidrostatik Air Laut

Monohull

$$P = \rho g h$$

ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

h = kedalaman permukaan (4 m)

$$P = 1025 \times 9,8 \times 4 \\ = 40180 Pa$$

2. Tekanan Hidrostatik Air Laut

MonoMaran

$$P = \rho g h$$

ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

h = kedalaman permukaan (4.2 m)

$$P = 1025 \times 9,8 \times 4.2 \\ = 42189 Pa$$

3. Tekanan Muatan

$$P = F/A$$

F = Gaya (N)

A = Luasan yang ditumpu (m²)

$$F = 546480 N$$

$$A = 191.52 m^2$$

$$= 2853.38 Pa$$

4. Tekanan Hidrokinamik

a. H1, H2, F1 dan F2 (Head dan Follow)

• H1 dan H2

$$P_{H1} = 16,059 kPa = 16059 Pa$$

$$P_{H1} = 10,706 kPa = 10706 Pa$$

$$P_{H1} = 5,353 kPa = 5353 Pa$$

$$P_{H2} = -16,059 kPa = -16059 Pa$$

$$P_{H2} = -10,706 kPa = -10706 Pa$$

$$P_{H2} = -5,353 kPa = -5353 Pa$$

Tinggi Gelombang / Hw :

Pw, WL = Tekanan yang berada pada sarat loading condition

$$Hw = \frac{Pw, WL}{\rho g} = \frac{16059}{1025 \times 9,8} = 0,561 m$$

• F1 dan F2

$$P_{F1} = -60,892 kPa = -60892 Pa$$

$$P_{F1} = -40,595 kPa = -40595 Pa$$

$$P_{F1} = -20,297 kPa = -20297 Pa$$

$$P_{F2} = 60,892 kPa = 60892 Pa$$

$$P_{F2} = 40,595 kPa = 40595 Pa$$

$$P_{F2} = 20,297 kPa = 20297 Pa$$

Tinggi Gelombang / Hw :

Pw, WL = Tekanan yang berada pada sarat loading condition

$$Hw = \frac{Pw, WL}{\rho g} = \frac{60892}{1025 \times 9,8} = 2,021 m$$

b. R1 dan R2 (Rolling Motion)

$$P_{R1} = 56,003 \text{ kPa} = 56003 \text{ Pa}$$

$$P_{R2} = - P_{R1} = - 56,003,190 \text{ kPa} = -56003 \text{ Pa}$$

$$P_{R1} = 6,555 \text{ kPa} = 6555 \text{ Pa}$$

$$P_{R2} = - P_{R1} = - 6,555 \text{ kPa} = -6555 \text{ Pa}$$

$$P_{R1} = 0$$

$$P_{R2} = - P_{R1} = 0$$

$$P_{R1} = 55,429 \text{ kPa} = 55429 \text{ Pa}$$

$$P_{R2} = - P_{R1} = - 55,429 \text{ kPa} = -55429 \text{ Pa}$$

a. Tinggi Gelombang / Hw (Weather Side) :

Pw, WL = Tekanan yang berada pada sarat loading condition

$$Hw = \frac{Pw,WL}{\rho g} = \frac{56003}{1025 \cdot 9,8} = 5,575 \text{ m}$$

b. Tinggi Gelombang / Hw (Lee Side) :

Pw, WL = Tekanan yang berada pada sarat loading condition

$$Hw = \frac{Pw,WL}{\rho g} = \frac{55429}{1025 \cdot 9,8} = 5,518 \text{ m}$$

c. P1 dan P2 (Pressure Maximum)

(Weather Side) :

$$P_{p1} = 80,302 \text{ kPa} = 80302 \text{ Pa}$$

$$P_{p1} = 48,181 \text{ kPa} = 48181 \text{ Pa}$$

$$P_{p1} = 0 \text{ kPa} = 0 \text{ Pa}$$

$$P_{p2} = -80,302 \text{ kPa} = -80302 \text{ Pa}$$

$$P_{p2} = -48,181 \text{ kPa} = -48181 \text{ Pa}$$

$$P_{p2} = -0 \text{ kPa} = -0 \text{ Pa}$$

(Lee Side) :

$$P_{p1} = 26,767 \text{ kPa} = 2676 \text{ Pa}$$

$$P_{p1} = 16,06 \text{ kPa} = 16060 \text{ Pa}$$

$$P_{p1} = 0 \text{ kPa} = 0 \text{ Pa}$$

$$P_{p2} = -26,767 \text{ kPa} = -26767 \text{ Pa}$$

$$P_{p2} = -16,06 \text{ kPa} = -16060 \text{ Pa}$$

$$P_{p2} = -0 \text{ kPa} = -0 \text{ Pa}$$

a. Tinggi Gelombang / Hw (Weather Side) :

Pw, WL = Tekanan yang berada pada sarat loading condition

$$Hw = \frac{Pw,WL}{\rho g} = \frac{80302}{1025 \cdot 9,8} = 7,994 \text{ m}$$

b. Tinggi Gelombang / Hw (Lee Side) :

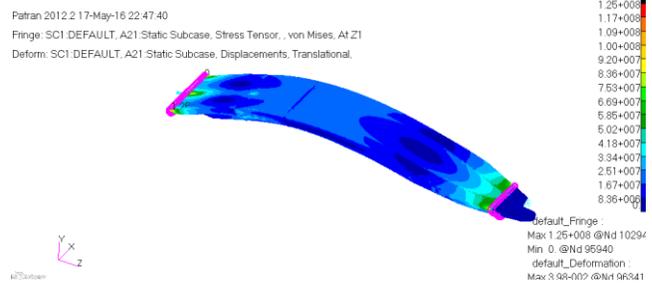
Pw, WL = Tekanan yang berada pada sarat loading condition

$$Hw = \frac{Pw,WL}{\rho g} = \frac{26767}{1025 \cdot 9,8} = 2,66 \text{ m}$$

4.3 Analisa Kekuatan

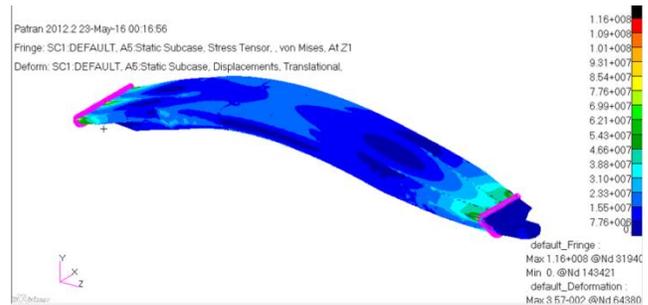
Tahap ini dilakukan untuk menghitung nilai stress tertinggi pada material pada saat pembebanan dilakukan. Dengan dasar rumus :
 tegangan = $\frac{\text{gaya}}{\text{satuan luas}}$

a. Pressure Hidrostatik (air tenang)



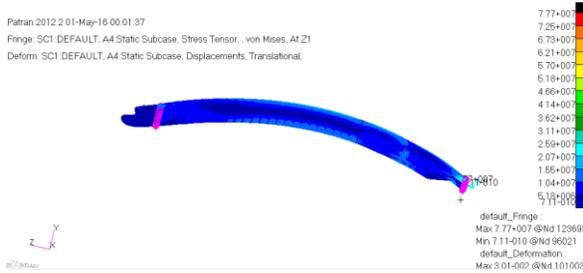
Gambar 6 Hasil running tegangan maksimal pada struktur keseluruhan lambung Monohull

Pada kondisi hidrostatik tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar 1,25 x 108 Pa pada node @10294 dan nilai deformasi maksimal sebesar 3,98 cm terjadi pada node @96341. Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan deck dengan side shell pada bagian buritan kapal.



Pada kondisi hidrostatik tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar 1,16 x 108 Pa pada node @31940 dan nilai deformasi maksimal sebesar 3,57 cm terjadi pada node @64380. Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan deck dengan side shell pada bagian buritan kapal

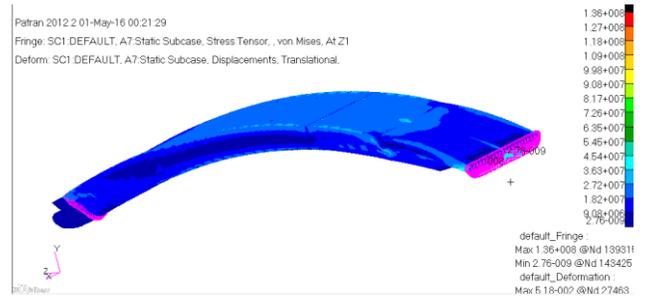
b. H1 dan H2



Gambar 7 Hasil *running* tegangan maksimal pada struktur keseluruhan lambung Monohull pada kondisi H1

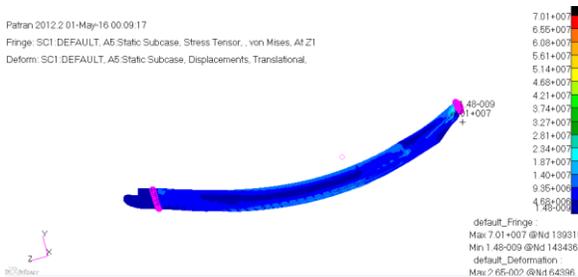
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $7,77 \times 10^7$ Pa pada node @96021 dan nilai deformasi maksimal sebesar 3,01 cm terjadi pada node @101003. Tegangan maksimal terjadi pada *solid* dan *bottom* yang mendapat tekanan hidrodinamik air laut.. Kondisi H1 menyebabkan *Hogging* sedangkan H2 mengalami *sagging*.

c. F1 dan F2



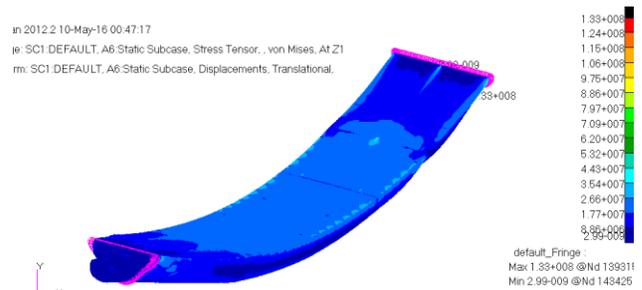
Gambar 9 Hasil *running* tegangan maksimal pada struktur keseluruhan *Monohull* pada kondisi F1

Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $1,36 \times 10^8$ Pa pada node @139315 dan nilai deformasi maksimal sebesar 5,18 cm terjadi pada node @27463. Tegangan maksimal terjadi pada *solid* dan *bottom* yang mendapat tekanan hidrodinamik air laut.



Gambar 8 Hasil *running* tegangan maksimal pada struktur keseluruhan lambung MonoMaran pada kondisi H2

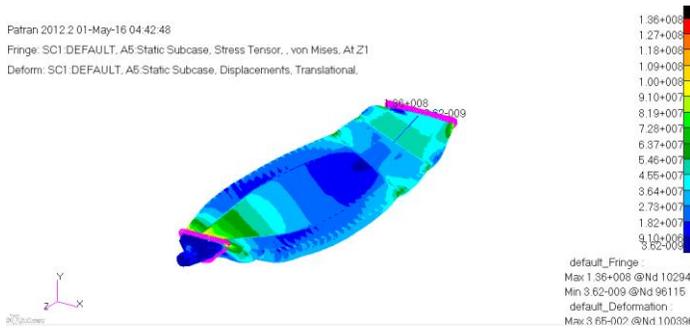
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $7,01 \times 10^7$ Pa pada node @139315 dan nilai deformasi maksimal sebesar 2,65 cm terjadi pada node @64396. Tegangan maksimal terjadi pada *solid* dan *bottom* yang mendapat tekanan hidrodinamik air laut.. Kondisi H1 menyebabkan *Hogging* sedangkan H2 mengalami *sagging*.



Gambar10 Hasil *running* tegangan maksimal pada struktur keseluruhan lambung MonoMaran pada kondisi F2

Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $1,33 \times 10^8$ Pa pada node @139315 dan nilai deformasi maksimal sebesar 5,024 cm terjadi pada node @27463. Tegangan maksimal terjadi pada *solid* dan *bottom* yang mendapat tekanan hidrodinamik air laut. Kondisi F1 menyebabkan *Hogging* sedangkan F2 mengalami *sagging*.

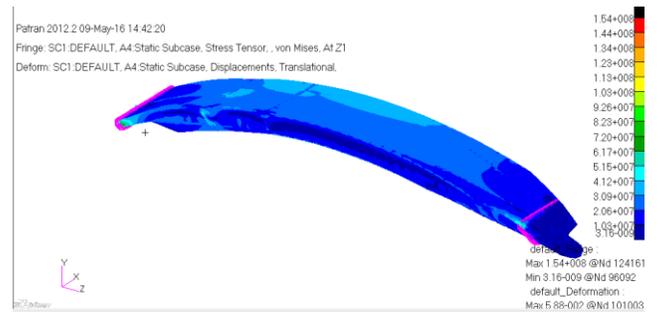
d. R1 dan R2



Gambar 11 Hasil *running* tegangan maksimal pada struktur keseluruhan lambung monhull pada kondisi R1

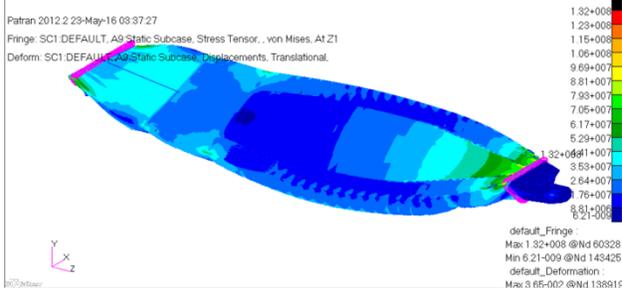
Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $1,36 \times 10^8$ Pa pada node @102941 dan nilai deformasi maksimal sebesar 3,62 cm terjadi pada node @100396. Tegangan maksimal terjadi pada deck dan side shell bagian weather side (port side) yang mendapat tekanan hidrodinamik air laut lebih besar dibandingkan dengan bagian lee side (Starboard). Kondisi R1 menyebabkan rolling ke kanan (weather side up, lee side down)

e. P1 dan P2



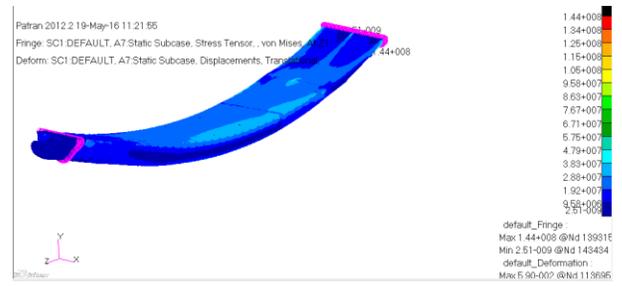
Gambar 13 Hasil *running* tegangan maksimal pada struktur keseluruhan lambung monohull pada kondisi P1

Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $1,54 \times 10^8$ Pa pada node @123693 dan nilai deformasi maksimal sebesar 5,88 cm terjadi pada node @101003. Tegangan maksimal terjadi pada solid floor pada bottom bagian buritan kapal yang mendapat tekanan hidrodinamik air laut.. Kondisi F2 menyebabkan mengalami Hogging



Gambar 12 Hasil *running* tegangan maksimal pada struktur keseluruhan lambung MonoMaran pada kondisi R2

Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $1,36 \times 10^8$ Pa pada node @102941 dan nilai deformasi maksimal sebesar 3,65 cm terjadi pada node @100396. Tegangan maksimal terjadi pada deck dan side shell pada bottom bagian weather side (port side) yang mendapat tekanan hidrodinamik air laut lebih besar dibandingkan dengan bagian lee side (Starboard). Kondisi R2 menyebabkan Monomarn rolling ke kiri (weather side down, lee side up).



Gambar 14 Hasil *running* tegangan maksimal pada struktur keseluruhan lambung MonoMaran pada kondisi P2

Pada kondisi ini tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $1,44 \times 10^8$ Pa pada node @139315 dan nilai deformasi maksimal sebesar 5,9 cm terjadi pada node @113695. Tegangan maksimal terjadi pada solid floor pada bottom bagian buritan kapal yang mendapat tekanan hidrodinamik air laut.. Kondisi P2 menyebabkan mengalami Sagging

4.5 Hasil Analisa Linear Statis

Setelah dilakukan analisa linear statis pada kondisi sarat penuh dengan beban hidrostatik dan hidrodinamik maka didapatkan hasil seperti berikut.

Tabel 10 Rekap Hasil Analisa Monohull

no	kondisi	tegangan maksimal (N/mm ²)	deformasi maksimal (cm)
1	Hidrostatik	125	3,98
2	H1 dan H2	77	3,01
3	F1 dan F2	136	5,45
4	R1 dan R2	136	3,65
5	P1 dan P2	154	5,88

Tabel 11 Rekap Hasil Analisa MonoMaran

no	kondisi	tegangan maksimal (N/mm ²)	deformasi maksimal (cm)
1	Hidrostatik	116	3,57
2	H1 dan H2	70	2,65
3	F1 dan F2	133	5,04
4	R1 dan R2	132	3.65
5	P1 dan P2	144	5.9

4.6 Safety Factor

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban luar, yaitu beban tekan maupun tarik[5].

a. Monohull

Tabel 12 Perhitungan *Safety Factor* menurut tegangan ijin ABS untuk keseluruhan struktur Monohull

no	kondisi	tegangan maksimal (N/mm ²)	tegangan ijin (N/mm ²)	safety factor	keterangan
1	Hidrostatik	125	180	1.44	aman
2	H1 dan H2	77	180	2.34	aman
3	F1 dan F2	136	180	1.32	aman
4	R1 dan R2	136	180	1.32	aman
5	P1 dan P2	154	180	1.17	aman

b. MonoMaran

Tabel 13 Perhitungan *Safety Factor* menurut tegangan ijin ABS untuk keseluruhan struktur MonoMaran.

no	kondisi	tegangan maksimal (N/mm ²)	tegangan ijin (N/mm ²)	safety factor	keterangan
1	Hidrostatik	116	180	1.55	aman
2	H1 dan H2	70	180	2.57	aman
3	F1 dan F2	133	180	1.35	aman
4	R1 dan R2	132	180	1.36	aman
5	P1 dan P2	144	180	1.25	aman

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari permodelan konstruksi untuk ukuran plat dan profil dan analisa struktur konstruksi kapal Ro-Ro dengan lambung Monohull dan lambung MonoMaran dengan menggunakan program Msc Patran dan Msc Nastran dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Desain konversi lambung Monohull menjadi Monomaran tidak terlalu banyak pengaruh terhadap perubahan hasil profilnya, namun untuk scantling profil monomaran lebih sedikit lebih besar daripada Monohull, besarnya perubahan berkisar antara 0.01-0.011% yang terjadi pada *Face Plate* profile namun pada tebal plat tidak mengalami banyak perubahan.
- Untuk Monohull dan Monomaran yang diberikan beban hidrostatik memiliki tegangan maksimum sebesar 121 N/mm² dan 109 N/mm² deformasi sebesar 3,73 cm dan 3,04 cm.
 - Untuk Monohull dan Monomaran yang diberikan beban hidrostatik memiliki tegangan maksimum sebesar 125 N/mm² dan 116 N/mm² deformasi sebesar 3,98 cm dan 3,57 cm.
 - Tegangan maksimal terjadi kondisi P1 dan P2 dimana tegangan yang terjadi sebesar 154 N/mm² disebabkan adanya pressure max dari air laut yang besar pada daerah bottom Monohull.
 - Sementara pada beban hidrodinamik sesuai dengan distribusi beban yang tercantum dalam CSR memiliki nilai tegangan maksimum masing-masing untuk H1 dan H2 arah gelombang yang datang dari arah depan (head sea) yang menyebabkan sagging maupun hogging sebesar 77 N/mm² untuk monohull dan 70 N/mm².
 - Pada kondisi F1 dan F2 arah gelombang yang datang dari arah belakang (following sea) yang menyebabkan sagging maupun hogging sebesar 136 N/mm² untuk monohull dan 133 N/mm² untuk Monomaran.

- e. Pada kondisi R1 dan R2 pada saat rolling maximum sebesar 136 N/mm² untuk Monohull dan 132 N/mm² pada untuk MonoMaran.

Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah nilai tegangan ijin menurut ketentuan ABS yaitu sebesar 180 N/mm². Penelitian yang dilakukan terhadap Monohull dan MonoMaran yang diberikan beban hidrostatis dan hidrodinamik sesuai dengan distribusi beban yang ada dalam CSR, maka penulis menyimpulkan bahwa lambung Monomaran lebih baik daripada Monohull ini terbukti dari terjadinya tegangan maksimal yang didapat.

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 analisa lebih lanjut tentang ekonomisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. Monohull. 20 maret 2015. <https://en.wikipedia.org/wiki/monohull>.
- [2] Wijnolst, Niko, Wergeland, Tor, 2009, *Part 4 Ship Design and Case-Studies, Shipping Innovation*, Netherlands, IOS Press
- [3] Anonim. Kapal Ro-Ro. 20 maret 2015. http://id.wikipedia.org/wiki/kapal_ro-ro
- [4] *Common Structural Rules For Bulk Carriers Chapter 4*, Juli 2012
- [5] American Bureau Of Shipping, *Rules For Building And Classing Passenger : Section 2 : Hull Structure*