

Shape Optimization untuk Mengurangi Berat Konstruksi pada Desain Bottom Frame Kapal Aluminium

Dhika Aditya Purnomo^{1*}, Fipka Bisono¹, Rizal Indrawan¹

¹Program Studi Desain Manufaktur, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
adityadhika@ppns.ac.id

Pemilihan material dan desain adalah hal yang sangat penting dalam dunia industri untuk menghasilkan produk-produk berkelanjutan dan kompetitif. Untuk memenuhi kriteria kekuatan dan ketahanan suatu komponen, shape optimization dapat digunakan sebagai alat pada proses desain. Dalam penelitian ini akan dilakukan shape optimization terhadap bentuk desain struktur dari kapal aluminium khususnya pada bagian bottom frame. Ada dua tujuan utama yang akan dicapai pada penelitian ini. Pertama yaitu membatasi massa dari bentuk frame yang optimum dengan target tertentu yang nilainya kurang dari desain frame aslinya. Yang kedua yaitu memaksimalkan kekuatan bentuk frame berdasarkan beban yang diterima kapal. Pengurangan massa akan dilakukan dengan cara mengeliminasi area-area pada frame yang memiliki pengaruh terkecil terhadap tegangan yang terjadi pada model frame. Dengan kata lain hal ini dilakukan untuk menghasilkan bentuk frame yang sering mungkin untuk mengurangi beban konstruksi kapal. Berdasarkan hasil dari simulasi shape optimization didapatkan desain bottom frame baru dengan pengurangan berat sebesar 13.743 kg atau sebesar 52.5%. Maximum von mises stress yang terjadi pada desain bottom frame hasil optimisasi adalah sebesar 1.599 MPa, lebih kecil daripada von mises stress maksimum yang terjadi pada original design frame yaitu sebesar 1.71 MPa.

Keywords - Frame, Kapal Aluminium, Shape Optimization

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar didunia. Banyak sektor yang yang berpengaruh terhadap kemajuan perekonomian Indonesia sebagai negara maritim. Industri perkapalan adalah salah satu sektor yang paling berperan memajukan perekonomian Indonesia. Saat ini industri perkapalan kecil dan menengah mulai beralih dari produksi kapal fiber atau kayu ke kapal aluminium. Karena selain ramah lingkungan kapal aluminium juga tahan terhadap korosi dan tidak mudah terbakar.

Dalam proses pembuatan kapal tentunya tujuan utama yang ingin di capai desainer atau seorang perancang adalah memaksimalkan kapasitas kapal tersebut. Hal ini dapat dicapai dengan cara meminimalkan beban kapal kosong atau LWT sehingga dengan displacement yang sama DWT kapal akan semakin besar. LWT dapat dikurangi salah satunya yaitu dengan cara meminimalkan beban konstruksi kapal, beberapa diantaranya yaitu pada bagian-bagian frame-nya. Shape

C. Original Design Frame

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan model original bottom frame kapal aluminium sesuai dengan desain yang sudah ada. Yang kemudian model ini nanti akan diolah menggunakan software Fusion 360 untuk dilakukan simulasi menggunakan FE analysis. Hasil dari simulasi kemudian di

optimization adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengoptimalkan bentuk suatu konstruksi dengan mengurangi massa sebesar mungkin tetapi dengan syarat konstruksi tersebut masih mampu memenuhi kriteria terhadap beban yang diterima.

Dengan latar belakang tersebut maka pada penelitian ini akan dilakukan shape optimization terhadap bentuk desain struktur dari kapal aluminium khususnya pada bagian bottom frame. Sehingga diharapkan LWT kapal dapat dikurangi untuk memaksimalkan DWT. Sehingga dengan bertambahnya DWT diharapkan kapasitas atau daya angkut kapal akan lebih maksimal.

II. METODE PENELITIAN

A. Identifikasi dan Studi Literatur

Tahap identifikasi awal merupakan langkah pertama penelitian untuk menetapkan tujuan penelitian, kemudian identifikasi permasalahan yang terjadi pada obyek penelitian. Pertama akan dilakukan identifikasi terhadap obyek dan permasalahan yang terjadi. Dengan melakukan pengamatan terhadap bentuk konstruksi kapal aluminium yang akan diteliti khususnya pada bagian bottom framenya. Selain itu juga melakukan pengumpulan data terhadap beban-beban yang akan diterima oleh lambung kapal. Kemudian mengidentifikasi desain bottom frame yang memungkinkan untuk dilakukan proses optimisasi. Desain bottom frame yang akan diteliti adalah pada kapal aluminium tipe Ambulance boat. Kemudian dilakukan pengumpulan teori-teori yang berhubungan dengan penelitian ini yang nantinya teori itu akan digunakan sebagai referensi dalam melakukan shape optimization.

B. Perhitungan Pressure Load

Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan beban- beban yang diterima oleh lambung kapal aluminium yang berdampak pada konstruksi bottom framenya. Beberapa beban yang diterima struktur bottom frame antara lain sea pressure load, impact load, dan deck load. Data dari perhitungan beban ini nantinya akan digunakan untuk melakukan shape optimization.

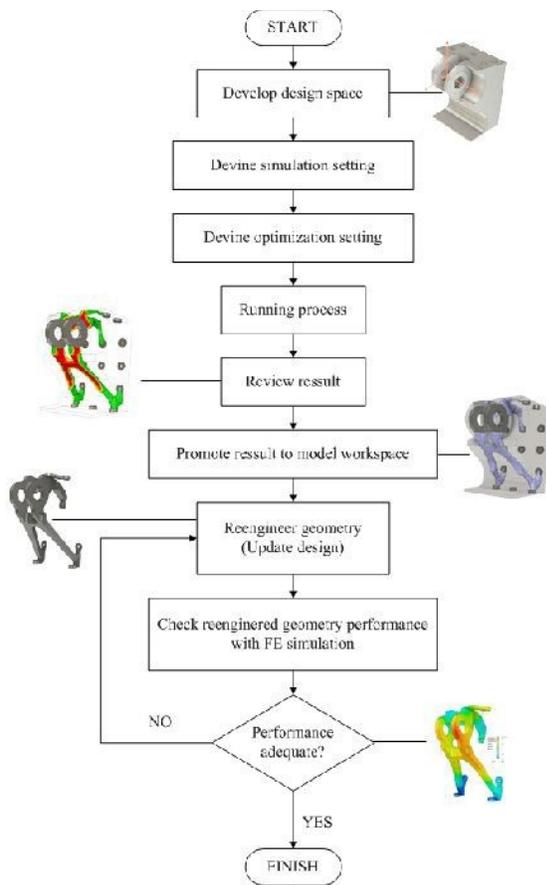
D. Shape Optimization

Langkah pertama untuk melakukan shape optimization adalah dengan membuat model design space sesuai dengan batasan-batasan yang ditentukan. Kemudian dilakukan optimisasi untuk mendapatkan desain bottom frame yang ringan dari original design bottom frame yang suc



Tahap-tahap proses optimasi menggunakan software Fusion 360 secara detail dapat dilihat dalam flowchart sebagai berikut:

Fig. 1. Shape optimization flowchart



E. Penarikan Kesimpulan Tahap terakhir pada penelitian ini yaitu menarik kesimpulan

3	15.22584	-7	-106.58
4	15.52908	-6	-93.17
5	66.66492	-5	-333.32
6	20.77994	-4	-83.11
7	21.76944	-3	-65.30
8	106.19784	-2	-212.39
9	26.36592	-1	-26.36
10	26.11056	0	0
11	24.86568	1	24.86
12	24.2592	2	48.51
13	23.52504	3	70.57
14	22.6632	4	90.65
15	21.9106	5	117.30
16	20.55648	6	123.33
17	16.758	7	117.30
18	13.85328	8	110.82
19	13.05528	9	117.30
20	37.60176	10	376.01
21	8.74608	11	96.20
22	6.47976	12	77.75
23	6.51168	13	84.65
	607.58124	$\Sigma() =$	-67.04

impula 15 dari ha 21.9106 hasil shape optimization terhadap konstruksi bottom frame pada kapal aluminium yang telah diteliti.

TABLE II. DISTRIBUSI BERAT KONSTRUKSI FRAME

18	13.85328	8	110.82
19	13.05528	9	117.30
20	37.60176	10	376.01
21	8.74608	11	96.20
22	6.47976	12	77.75
23	6.51168	13	84.65
	607.58124	$\Sigma() =$	-67.04

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapal yang akan diteliti pada penelitian ini adalah Ambulance boat, yang termasuk kedalam jenis high speed craft dengan kecepatan maksimum 30 knots seperti ditunjukkan pada Fig. 2. Kapal ini menggunakan struktur berbahan aluminium alloy 5083 extruded. Adapun untuk data ukuran utama kapal disajikan dalam Table 1.

Fig. 2. Ambulance boat

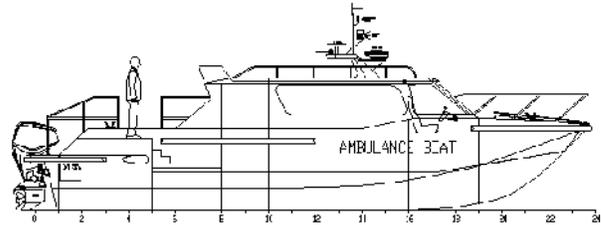


TABLE I. PRINCIPAL DIMENSION

PRINCIPAL DIMENSION	
L.O.A	11.49 m
L.W.L	9.56 m
L.P.P	9.96 m
B	3.78 m
H	1.75 m
T	0.6 m
Cb	0.49
Vs (max)	30 Knots
Power	2 x 300 HP
FO Tank	1000 Litre
Crews	2 persons
Passangers	10 persons
Endurance	200 NM

A. Perhitungan LCG

Sebelum menentukan LCG langkah pertama yang harus dihitung adalah berat total keseluruhan frame pada kapal. Table

2. menunjukkan nilai total berat keseluruhan dari konstruksi frame. Karena dari data frame yang diperoleh hanya berupa gambar 2D maka untuk mengetahui berat pada masing-masing frame dihitung dengan mengalikan luasan frame dengan tebal frame kemudian dikalikan dengan massa jenisnya.

Frame pada kapal ini menggunakan material Plat Aluminium Alloy dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Material : Alumiminium Alloy 5083 Extruded
- Density : 2660 kg/m³
- Tebal : 6 mm

B. Beban Lokal

Pada penelitian ini yang akan di teliti atau di optimasi adalah desain dari bottom frame kap l. Sebelum melakukan imula i optimasi maka perlu dihitung beban lokal apa saja yang diterima oleh bottom frame. Beban-beban tersebut diantaranya adalah beban yang diakibatkan oleh sea pressure, beban yang diakibatkan oleh beban kejut di bagian bawah lambung, dan beban geladak.

1) Sea pressure (Beban Tekanan Seng) diterima lambung dari bagian samping dan bawah lambung kapal y

$$= 10 \cdot \left(\frac{12.88}{6} \right) + \dots$$



akibatkan oleh itung menggunakan persamaan seba

$$= 12.88 \text{ Pa} \tag{2}$$

Dimana:

- T_0 : Sarat kapal = 0.6 m
- z : jarak vertikal load point dari moulded base line = 0.812 m
- S : maksimal 1.5

2) *Impact pressure on bottom hull*: Beban kejut umumnya di terima pada bagian lambung bawah kapal yang terjadi karena hantaman ombak air laut saat kapal dalam kecepatan tinggi. Besarnya tekanan kejut dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$P_{sl} = 100 \cdot C_1 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot a_{CG} \tag{3}$$

$$= 100 \cdot 0.6 \cdot 1 \cdot 0.35 \cdot 1.01 \cdot 1.42$$

$$= 3.118 \text{ kPa}$$

Dimana:

- $K_1 = 1,0$ (untuk $0,5 \leq L \leq 0,8$) x adalah letak load point secara memanjang
- $K_2 = 0.455 - 0.35 \frac{u-1.7}{u^{0.75}+1.7}$
 $= 0.455 - 0.35 \frac{29.75^{0.75}-1.7}{29.75^{0.75}+1.7} = 0.187$
 $= 0.35$ (karena untuk girder minimal 0.35)
- $u = 100 \frac{S}{S_r}$
 $= 100 \cdot \frac{3.78}{12.705} = 29.75$
- $S_r = 0.7 \frac{\Delta}{T}$
 $= 0.7 \cdot \frac{10.89}{0.6} = 12.705$
- $\Delta = L \cdot B \cdot T \cdot C_b \cdot 1.025 \text{ t/m}^2$
 $= 0.56 \cdot 2.78 \cdot 1 \cdot 0.49 \cdot 1.025$
 $= 10.89 \text{ t}$

$$\frac{\sum (X_i \cdot M_i)}{\sum M_i}$$

Berdasarkan Table 2. kemudian dihitung longitudinal center of gravity (LCG) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$LCG = \frac{\sum_{i=1}^m (M_i \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^m M_i} \tag{1}$$

$$LCG = \frac{67.04}{607.58124}$$

$$LCG = 0.1103 \text{ m}$$



$$K3 = \frac{70 - a_d}{70 - a_{dCG}} = \frac{70 - 17,87}{70 - 18,45} = 1,01$$

$a_d = 17,87^\circ$ (deadrise angle pada LCG)
 $a_{dCG} = 18,45^\circ$ (deadrise angle pada load point)

$$a_{CG} = C_{HSC} \cdot C_{RW} \cdot \frac{V}{\sqrt{L}} = 0,6 \cdot 0,75 \cdot \frac{30}{\sqrt{9,96}} = 1,42 \text{ g}$$

Nilai C_{HSC} yang dipilih adalah 0.6 karena type of service dari kapal Ambulance termasuk kedalam tipe rescue. Dan nilai service range coefficient C_{RW} yang dipilih adalah 0.75 untuk kapal dengan L service range.

3) *Deck pressure*. Besar beban yang terjadi pada geladak dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_d = p \cdot (1 + 0,4 a_v) = 6,1 \cdot (1 + 0,4 \cdot 1,45) = 9,48 \text{ kPa}$$

Dimana:

$p = 6$ (untuk $z_d \leq 2$) z_d adalah jarak vertikal [m] dari geladak ke waterline pada sarat kapal T.

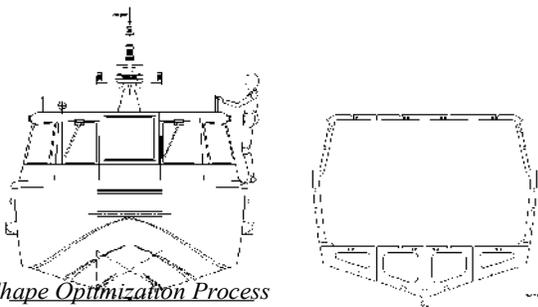
$$a_v = \frac{k_v \cdot a_{CG}}{1 - \frac{z_d}{L}} = \frac{1,022 \cdot 1,42}{1 - \frac{0,5}{9,96}} = 1,45$$

$$k_v = 2 - \frac{1 - 0,5}{1 - 0,488} = 1,022$$

C. FE Analysis Original Design Frame

Desain bottom frame original dari kapal ambulance yang diteliti ditunjukkan pada Fig. 3. Bottom frame ini adalah bottom frame yang terletak dibagian frame ke-10 atau pada bagian midship kapal.

Fig. 3. Struter bottom frame ambulance boat



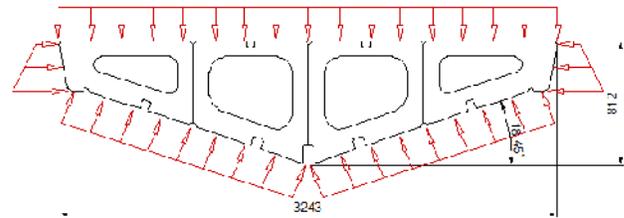
D. Shape Optimization Process

Dari desain original bottom frame diatas kemudian dilakukan shape optimisasi untuk mendapatkan desain yang lebih ringan tetapi masih dalam batas allowable stress-nya. Tahap-tahap proses optimasi menggunakan software secara detail dapat dilihat pada Fig. 1.

1) *Develop design space*: Optimisasi pada penelitian ini menggunakan software Fusion 360, software ini sangat powerfull untuk desain maupun simulasi dari masalah struter

Dari desain original bottom frame diatas kemudian dilakukan analisa teggangan menggunakan metode FEM finite elemen method. Fig. 4 menunjukkan free body diagram yang menunjukkan beban yang diterima oleh bottom frame.

Fig. 4. Free body diagram bottom frame



Karena sarat constraint harus terpenuhi maka diasumsikan gaya aksi dari beban geladak sama dengan gaya reaksinya, maka beban yang diterima bottom frame yang di terima hanya dari sisi bawah. Bagian atas bottom frame sebagi fixed constrain dan bagian sisi bawah menerima jumlah total ke tiga beban diatas yaitu sebesar 52 kPa. Hasil dari analisa tegangan terhadap desain original bottom frame menggunakan software adalah sebagai berikut:

Fig. 5. Analysis result: von misses

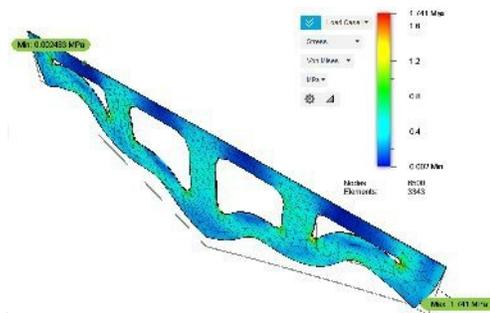
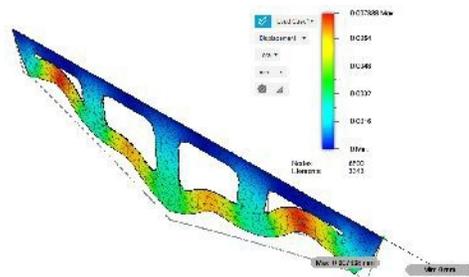


Fig. 6.



Dari hasil simulasi sperti pada Fig. 5 menunjukkan tegangan maksimal yang terjadi pada original desain bottom frame adalah sebesar 1,741 Mpa. Pada Fig. 6 menunjukkan displacement yang terjadi adalah sebesar 0.007838 mm.

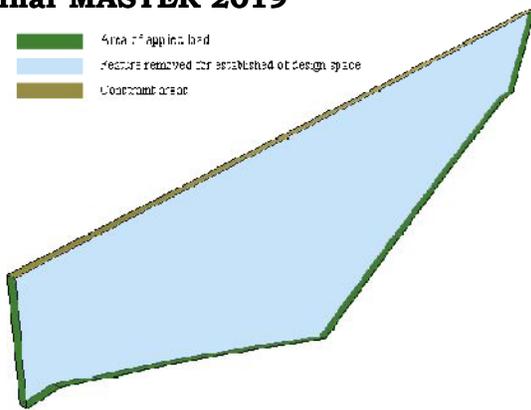
dan termal. Software ini dilengkapi utiliti untuk menghitung shape optimization, mempersiapkan design space dan melakukan reengineering hasil dari optimisasi. Fig.7 menunjukkan desain space dan spesifikasi area dari bottom frame yang akan di teliti.

Fig. 7. Bottom frame: area specification

2) *Define simulation and optimization setting*: Per yang dibutuhkan dan target simulasi dari kasus i



- Area of applying load
- Features removed for simplification of design space
- Unconstraint area



ditentukan oleh peneliti dan berdasarkan standar aturan yang berlaku, dan di jabarkan sebagai berikut:

Performace Objectives

Material properties yang digunakan sama dengan original design

- Yield strength, Rp
- 0.2 Mechanical properties
- Maximum stress yang terjadi minimal sama atau kurang dari original design
 - Pengurangan berat maximum dari original design
- design Production properties
- Design yang baru tidak mempengaruhi machining time

Ketika melakukan shape optimisasi perlu dipertimbangkan juga dari segi manufakturnya. Bottom frame ini di buat dari lembaran plat yang dipotong menggunakan proses plasma cutting. Jangan sampai design bottom frame baru hasil dari optimisasi, waktu proses mchiningnya melebihi dari original design. Pengurangan berat dari bottom frame adalah menjadi target utama dalam penelitian ini. Dalam proses optimisasi sangat memungkinkan terjadi internal voids atau cavity yang

5083 extruded. Untuk lebih jelasnya mengenai material properties dapat dilihat pada Fig. 10.

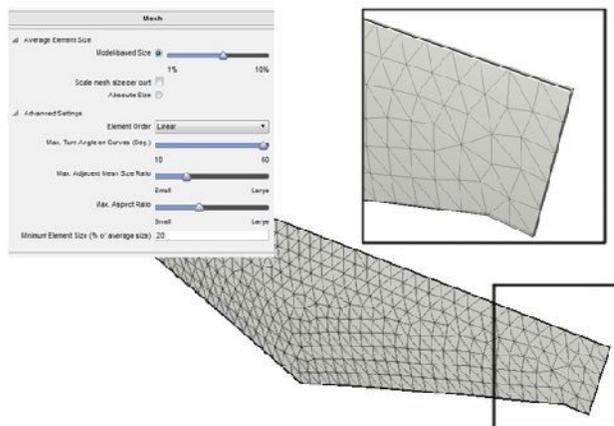
Fig. 10. Bottom frame: material properties

6) *Symmetri plane*: Symmetri plane berebentuk planar diaplikasikan pada seluruh area design space, tetapi tidak pada bagian frozen area seperti ditunjukkan pada Fig. 11. Dengan menggunakan symmetri constraint, solusi yang di hasilkan akan lebih aesthetic dan akan lebih mudah untuk di produksi. Frozen area adalah area yang geometrinya tidak terpengaruh dan tidak berubah ketika proses optimisasi selesai di lakukan.

tidak terlihat. Hal ini perlu dihindari karena sangat tidak memungkinkan untuk proses machining.

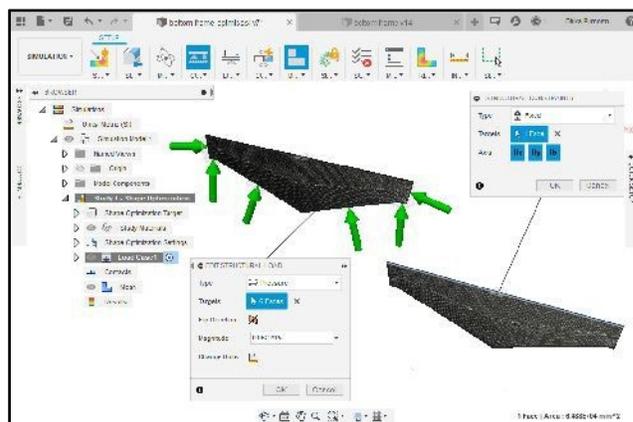
3) *Meshing*: Pada model bottom frame ini di atur menggunakan mesh yang berukuran 5% berdasarkan model (model-based size) dengan element order linier. Fig.8 menunjukkan detail mesh yang diaplikasikan pada model bottom frame.

Fig. 8. Bottom frame: mesh with model based size



4) *Load and Constraint*: Beban yang diaplikasikan pada bottom frame antara lain adalah beban sea pressure, beban kejut, dan beban geladak seperti yang telah di bahas sebelumnya. Beban tersebut di aplikasikan pada permukaan bagian bawah bottom frame yaitu sebesar 0.052 Mpa. Sedangkan pada permukaan bagian atas bottom frame diaplikasikan structural constraints fixed. Ilustrasi pengaplikasian loads dan constraints pada model bottom frame dapat dilihat pada Fig. 9.

Fig. 9. Bottom frame: loads and constraints



5) *Material*: Material yang digunakan pada model ini sama dengan material yang dipakai pada original design. Pemilihan material telah ditentukan berdasarkan standar material aluminium untuk high speed craft yaitu Aluminium

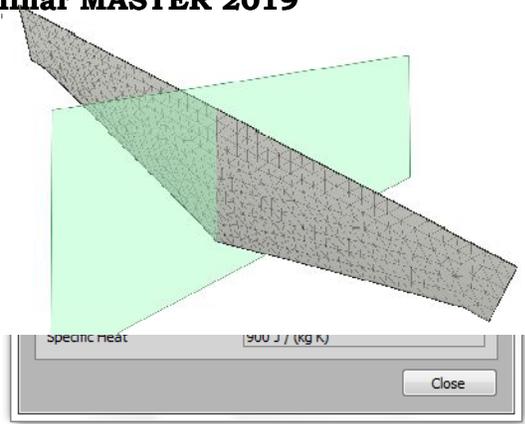
Pada model ini bagian frozen area terletak pada permukaan sisi atas, samping, dan bawah dari bottom frame.

Fig. 11. Bottom frame: symmetry plane

Shape optimization criteria. Secara umum ada dua global objectives pada kriteria optimisasi pada software Fusion 360 yaitu:

- Target mass: pada simulasi ini target mass ditentukan sebesar 30% dari design space. Nilai ini nantinya bisa diatur untuk mendapatkan nilai yang paling optimal
- Stiffness: kekakuan yang ingin dicapai yaitu maksimum.



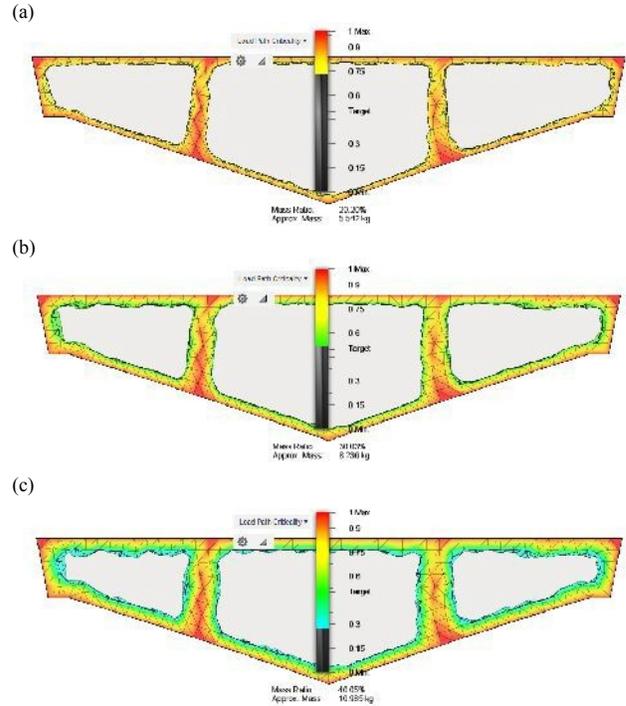


Atau dengan kata lain global objectives pada simulasi ini yaitu untuk menghasilkan desain dengan massa seminimal mungkin dan dengan kekakuan yang semaksimal mungkin.

E. Shape Optimization Result

Pada simulasi ini dilakukan optimasi dengan tiga kriteria target mass yaitu, 20%, 30% dan 40%. Hasil dari optimasi dari simulasi ini ditunjukkan pada Fig.12. Kemudian hasilnya nanti akan di validasi dengan FE analysis untuk melihat desain mana yang menghasilkan massa paling kecil tetapi masih dalam batas yang diijinkan.

Fig. 12. Minimizing volume while maintaining stiffness result: (a) Mass ratio about 20%, (b) mass ratio about 30%, dan (c) mass ratio about 40%



Hasil simulasi kemudian di promote ke dalam model workspace untuk dilakukan reengineering design. Reengineering design dilakukan untuk menyempurnakan geometri model agar mudah dalam proses manufakturnya dan untuk menghindari area-area tajam yang mungkin akan mengakibatkan konsentrasi tegangan. Hasil promote ditunjukkan pada Fig. 13 dan hasil dari reengineering design ditunjukkan pada Fig. 14.

Fig. 13. Promoted result: (a) Mass ratio about 20%, (b) mass ratio about 30%, dan (c) mass ratio about 40%

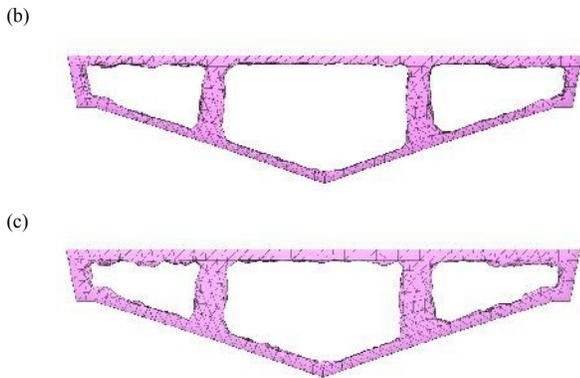
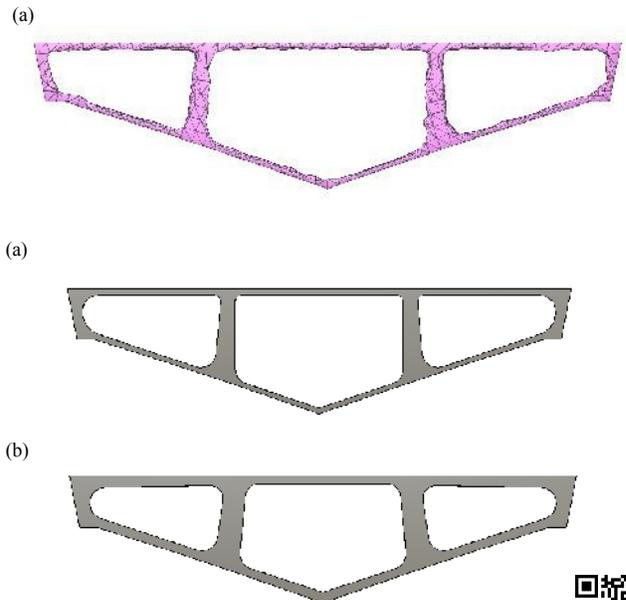


Fig. 14. Reengineering design: (a) Mass ratio about 20%, (b) mass ratio about 30%, dan (c) mass ratio about 40%

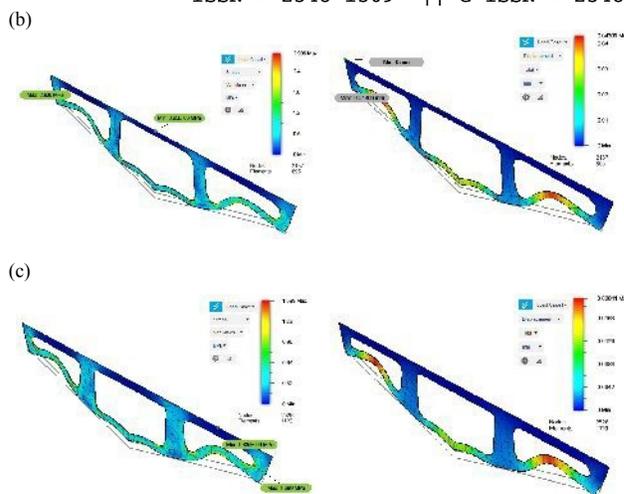
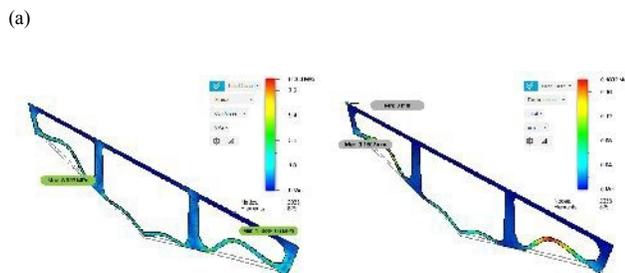




F. Design Validation

Dari hasil reengineering design kemudian dilakukan validasi menggunakan FE analysis pada masing-masing model. Loads dan constraints diaplikasikan sesuai dengan yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil dari FE analysis dari masing-masing model ditunjukkan pada Fig.15.

Fig. 15. Validation result: (a) Mass ratio about 20%, (b) mass ratio about 30%, dan (c) mass ratio about 40%



Secara detail hasil max von misses stress dan displacement setelah dilakukan validasi menggunakan FE analysis terhadap ketiga model diatas dirangkum dalam Table 3. sebagai berikut:

TABLE III. VON MISSES STRESS AND DISPLACEMENT RESULT

Model	Target mass	Von misses stress (MPa)	Displacement (mm)	Mass (kg)	Persentase berat terhadap original design
Original design	-	1.741	0.00783	26.110	100%
Model a	20%	8.003	0.18020	6.631	25.39%
Model b	30%	2.906	0.04309	9.473	36.28%
Model c	40%	1.599	0.02041	12.367	47.36%

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari FE analysis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15. menunjukkan bahwa maximum von misses stress rata-rata terjadi pada area radius dalam dari model bottom frame. Hal ini disebabkan karena pada bagian tersebut terjadi konsentrasi tegangan yang cukup besar. Sedangkan berdasarkan perbandingan model hasil optimasi terhadap original design seperti ditunjukkan pada Tabel 4.4. dapat dilihat bahwa hanya pada model c yang memenuhi kriteria dari objective penelitian ini. Model 'c' memiliki von misses stress \leq design original yaitu 1.599 MPa \leq 1.71MPa.

Perbandingan berat pada model 'c' terhadap original design adalah sebesar 47.36%. Dengan kata lain hasil optimasi yang ditunjukkan pada model 'c' menunjukkan pengurangan berat konstruksi bottom frame sebesar 26.11-12.367 = 13.743 kg, atau sebesar 52.6% terhadap berat dari konstruksi design original bottom frame.

Dari hasil diatas menunjukkan bahwa dengan adanya proses shape optimization dapat mengurangi berat struktur dari konstruksi kapal aluminium. Dengan adanya pengurangan berat konstruksi kapal otomatis DWT kapal akan semakin



meningkat yang berarti kapasitas angkut kapal juga akan bertambah. Selain itu dengan berkurangnya berat konstruksi kapal juga memungkinkan dapat meminimalkan biaya material yang dibutuhkan untuk membuat konstruksi kapal tersebut.

REFERENCES

- [1] L. Robbin, "Methodology for Topology and Shape Optimization: Application to a RearLower Control Arm," Master's Thesis, Chalmers University Of Technology, Sweden, 2016.J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- [2] G. A. M. Algarra and A. T. Pérez, "Integrating topology and shape optimization: a way to reduce weight in structural ship design," *Ship Science & Technology*. vol. 1, pp. 83-92, July 2009.
- [3] J. S. Dokken, S. W. Funke, A. Johansson, and S. Schmidt, "Shape Optimization Using The Finite Element Method On Multiple Meshes With Nitsche Coupling," *Universitat Wurzburg, Germany*, Jun. 2018.
- [4] J. Steffen, "Structural Topology Optimization," Master's Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Norway, Jun. 2013.
- [5] A. Luthfi and K. A. Subhan, "Generate an optimum lightweight legs structure design based on critical posture in A-FLoW Humanoid Robot," *Journal of Physics: Conference Series*, pp. 1742-6596, 2018.

