



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Studi Perencanaan Konstruksi Dan Analisa Kekuatan Kapal *Floating Fuel Station*

Rais Rachman Hakim¹⁾, Hartono Yudo¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾

¹⁾Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}e-mail : rrachman45@student.undip.ac.id, hartono.yudo@yahoo.com, ahmadfzakki@yahoo.com

Abstrak

Permasalahan utama untuk memenuhi kebutuhan kapal-kapal nelayan di pesisir adalah pendistribusian bahan bakar yang masih kurang. Untuk mengatasi permasalahan pendistribusian bahan bakar di pesisir Indonesia maka diperlukan penambahan jumlah *Floating Fuel Station*. Berdasarkan hasil penelitian telah dilakukan, didapatkan data ukuran utama, stabilitas, dan olah gerak. Guna melengkapi data perencanaan selanjutnya penelitian ini dilakukan untuk merencanakan konstruksi ruang muat dan kekuatannya terhadap memanjang kapal dengan bantuan program numerik *Finite Element Method (FEM)* untuk mengetahui tegangan maksimum yang terjadi. Nilai tegangan maksimum yang dihasilkan konstruksi melintang ialah 6,198 N/mm² pada air tenang, 37,72 N/mm² pada kondisi saggings, N/mm² pada kondisi hogging. Konstruksi memanjang 3,51 N/mm² pada air tenang, 21,40 N/mm² pada kondisi saggings, 12,71 N/mm² pada kondisi hogging. Konstruksi campuran menghasilkan tegangan maksimum 5,01 N/mm² pada kondisi air tenang, 30,51 N/mm² pada kondisi saggings, 18,12 N/mm² pada kondisi hogging. Dapat disimpulkan bahwa konstruksi memanjang merupakan konstruksi yang paling baik karena memiliki tegangan maksimal yang paling kecil pada semua kondisi. Jika ditinjau dari segi ekonomis maka sistem konstruksi melintang adalah yang paling baik karena memiliki berat konstruksi yang paling ringan dan masih memenuhi kriteria regulasi.

Kata Kunci : Kekuatan Memanjang, Konstruksi, Tegangan Maksimal, Air Tenang, Saggings, Hogging

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan bakar untuk masyarakat pesisir di Indonesia sangat banyak dan didominasi oleh kapal-kapal nelayan dikarenakan masyarakat pesisir di Indonesia banyak yang bekerja sebagai nelayan.[1]. Permasalahan utama untuk memenuhi kebutuhan kapal-kapal nelayan di pesisir adalah pendistribusian bahan bakar yang masih kurang,[2] hal ini dikarenakan pendistribusian bahan bakar untuk bagian pesisir masih belum tersedia di semua daerah, harga jual BBM (Bahan Bakar Minyak) kepada nelayan di beberapa tempat lebih tinggi dari harga Perpres karena mereka membeli dari tengkulak/pengecer, nelayan harus mengeluarkan biaya tambahan (ongkos angkut ke lokasi sentra nelayan) jika membeli dari SPBU.

Untuk mengatasi permasalahan pendistribusian bahan bakar di pesisir Indonesia maka diperlukan penambahan jumlah *Floating*

Fuel Station yaitu pola pendistribusian bahan bakar nelayan dengan membuat SPBB (Stasiun Pengisian Bahan Bakar Bunker). SPBB adalah stasiun pengisian bahan bakar pada bunker yang pada konsumen yang berhak sesuai ketentuan [3] (nelayan) dengan bangunan berupa kapal SPOB (*Self Propelled Oil Barge*) dimana bahan bakar dibawa dari pelabuhan di pulau besar dan langsung didistribusikan ke kapal nelayan yang berada di pesisir dengan mengoptimalkan waktu pengiriman dan sasaran pengiriman yang tepat melalui jalur laut.

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir yang telah dilakukan yaitu Studi perancangan *Floating Fuel Station* untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar nelayan pesisir di Kabupaten Demak, telah didapatkan ukuran utama, Stabilitas dengan nilai GZ 1,896 di kondisi 100%, dan analisa olah gerak untuk sudut maksimum *roll* 6° dan sudut maksimum *pitch* 3°.

Selanjutnya dilakukan perhitungan perencanaan konstruksi ruang muat kapal sesuai dengan regulasi yang diatur oleh BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) Volume II *Rules for Hull* Tahun 2018 untuk mengetahui kekuatan memanjang kapal pada kondisi air tenang, saggings, dan hogging.

Kekuatan kapal adalah hal yang sangat penting untuk dianalisa pada sebuah kapal.[4]. Kekuatan kapal dipengaruhi oleh beban dan gaya angkat yang dihasilkan oleh kapal tersebut. Akumulasi dari beban dan gaya angkat tersebut, akan mengakibatkan terjadinya distribusi tegangan yang terjadi pada kapal. Tegangan yang terjadi ini dapat mengakibatkan terjadinya gagal konstruksi.[5].

Konstruksi kapal merupakan rangkaian antara bagian-bagian konstruksi satu dan lainnya. Bagian-bagian kapal tersebut dapat digolongkan menjadi [6] tiga jenis konstruksi yaitu tipe konstruksi memanjang, tipe konstruksi melintang, dan tipe konstruksi campuran.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Stasiun Pengisian Bahan Bakar Bunker (SPBB) adalah stasiun pengisian bahan bakar yang khusus melayani pengisian bahan bakar untuk kendaraan air. Fungsi dari SPBB ini sama seperti SPBU yang ada di darat, hanya saja posisinya mengapung di atas permukaan air.[7].

Objek dari penelitian ini adalah konstruksi kapal *Floating Fuel Station* dengan ukuran utama :

LOA	= 30,0625 m
LWL	= 28,9690 m
LPP	= 28,2760 m
B	= 11,5 m
H	= 2,5 m
T	= 1,8 m
Displacement	= 515,1 Ton

2.2. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini, penulis akan membuat variasi sistem konstruksi pada ruang muat *Floating Fuel Station*. Adapun variasi sistem konstruksi yang di analisa adalah :

1. Melintang
2. Memanjang
3. Campuran

2.3. Regulasi Perhitungan Pembebanan Eksternal (BKI)

Beban Geladak Cuaca

$$Pd = Po \frac{20 \cdot T}{(10 + Z - T)H} \cdot Cd (kN/m^2) \quad (1)$$

$$Po = 2,1 \cdot (Cb + 0,7) \cdot C_0 \cdot C_L \cdot f (kN/m^2) \quad (2)$$

dimana :

$$C_0 = (L/25 + 4,1) Crw \quad \text{untuk } L \leq 90$$

$$Cd = 1,00 \quad \text{untuk tengah kapal}$$

$$Crw = 0,75$$

$$f = 1 \quad \text{untuk plat}$$

$$= 0,75 \quad \text{untuk } stiffener, main frame, beam$$

$$= 0,60 \quad \text{untuk } girder, web frame, stringers$$

$$Z = (2/3) \cdot H$$

Beban Pada Sisi Kapal

1. Dibawah Garis Air

$$Ps = 10 \cdot (T - Z) + Po \cdot C_f \cdot \left(1 + \frac{Z}{T}\right) (kN/m^2) \quad (3)$$

2. Diatas Garis Air

$$Ps = Po \cdot C_f \cdot \left(\frac{20}{10 + Z - T}\right) (kN/m^2) \quad (4)$$

Beban Pada Alas

$$Pb = 10 \cdot T + Po \cdot C_f (kN/m^2) \quad (5)$$

dimana :

$$C_f = 1,00 \quad \text{untuk tengah kapal}$$

Beban Alas Dalam

$$Pi = 9,81 \cdot \frac{G}{V} \cdot h \cdot (1 + a_v) (kN/m^2) \quad (6)$$

dimana :

$$G = \text{berat muatan bersih}$$

$$V = \text{volume muatan kapal}$$

$$h = H - Hdb$$

$$Hdb = \text{tinggi } double bottom$$

$$a_v = F \cdot m$$

$$F = 0,11 \cdot Vs / \sqrt{L}$$

$$Vs = \text{kecepatan}$$

$$m = 1,00 \quad \text{untuk tengah kapal}$$

2.4. Regulasi Perhitungan Modulus Profil dan Tebal Plat (BKI)

Tebal Plat Sisi

$$ts1 = 1,9 \cdot nf \cdot a \cdot \sqrt{Ps \cdot k} + tk (mm) \quad (7)$$

Tebal Plat Alas

$$tb1 = 1,9 \cdot nf \cdot a \cdot \sqrt{Pb \cdot k} + tk (mm) \quad (8)$$

Tebal Plat Alas Dalam

$$tb1 = 1,1 \cdot a \cdot \sqrt{Pi \cdot k} + tk (mm) \quad (9)$$

Tebal Plat Deck

$$tb1 = 1,21 \cdot a \cdot \sqrt{Pd \cdot k} + tk (mm) \quad (10)$$

dimana :

$$nf = 1,00 \quad \text{untuk konstruksi melintang}$$

$$= 0,83 \quad \text{untuk konstruksi memanjang}$$

$$k = 1,00 \quad \text{faktor bahan}$$

$$tk = 1,50 \quad \text{faktor korosi}$$

Tebal *Center Girder*

$$tm = \frac{h}{h_a} \left(\frac{h}{100} + 1,0 \right) \sqrt{k} \text{ (mm)} \quad (11)$$

Tebal *Side Girder*

$$t = \frac{h^2}{120 \cdot h_a} \sqrt{k} \text{ (mm)} \quad (12)$$

dimana :

h = 350 + 45. B

h_a = tinggi *center girder*

Tebal *Solid Floor*

$$t_{pf} = (tm - 2,0) \sqrt{k} \text{ (mm)} \quad (13)$$

Tebal Sekat Kedap Air

$$t_{min} = 6,00 \cdot \sqrt{f} \text{ (mm)} \quad (14)$$

dimana :

f = 235/REH

REH = 235 N/mm²

Modulus *Main Frame*

$$W_R = n \cdot c [1 - ma^2] \cdot c_r \cdot a \cdot l^2 \cdot Ps \cdot k \text{ (cm}^3\text{)} \quad (15)$$

Modulus *Deck Beam*

$$W_d = c \cdot a \cdot l^2 \cdot Pd \cdot k \text{ (cm}^3\text{)} \quad (16)$$

Modulus *Strong Beam dan Girder*

$$W = c \cdot e \cdot l^2 \cdot Pd \cdot k \text{ (cm}^3\text{)} \quad (17)$$

dimana :

n = 0,9 - 0,0035. L untuk L < 100 m

c_{min} = 0,6

c = 0,75 untuk beam dan girder

ma = 0,204 $\frac{a}{l} \left[4 - \left(\frac{a^2}{l} \right) \right]$

c_{r min} = 0,75

a = *frame spacing*

e = lebar pembebanan

l = panjang tak ditumpu

Modulus *Side Longitudinal*

$$W_l = \frac{83,3}{\sigma_{perm}} \cdot a \cdot l^2 \cdot Ps \text{ (cm}^3\text{)} \quad (18)$$

Modulus *Bottom Longitudinal*

$$W_l = \frac{83,3}{\sigma_{perm}} \cdot a \cdot l^2 \cdot Pb \text{ (cm}^3\text{)} \quad (19)$$

Modulus *Inner Bottom Longitudinal*

$$W_l = \frac{83,3}{\sigma_{perm}} \cdot a \cdot l^2 \cdot Pi \text{ (cm}^3\text{)} \quad (20)$$

dimana :

σ_{perm} = 0,8 + (L/450). 230/k

Modulus *Deck Longitudinal*

$$W_l = c \cdot a \cdot l^2 \cdot Pd \cdot k \text{ (cm}^3\text{)} \quad (21)$$

Modulus *Bottom Frame*

$$W_l = n \cdot c \cdot a \cdot l^2 \cdot Pb \cdot k \text{ (cm}^3\text{)} \quad (22)$$

Modulus *Inner Bottom Frame*

$$W_l = n \cdot c \cdot a \cdot l^2 \cdot Pi \cdot k \text{ (cm}^3\text{)} \quad (23)$$

dimana :

n = 0,55 untuk Pi

= 0,70 untuk Pb

2.5. Regulasi Kekuatan Memanjang (BKI)

Untuk menentukan tegangan ijin maksimal menurut regulasi BKI ialah :

$$\sigma_p = c_s \cdot \sigma_{p0} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (24)$$

dimana :

σ_{p0} = 18,5 √L/k untuk L < 90 m

c_s = 0,5 + $\frac{5}{3} \cdot \frac{x}{L}$ untuk 0 ≤ xL ≤ 0,30

= 1,0 untuk 0,30 < xL < 0,70

= 5/3 [1,3 - x/L] untuk 0,70 < xL < 1,0

Section Modulus W_{min} pada *deck* dan *bottom* tidak boleh kurang dari perhitungan [8] :

$$W_{min} = k \cdot C_0 \cdot L^2 \cdot B \cdot (Cb + 0,7) \cdot 10^{-6} \text{ (m}^3\text{)} \quad (25)$$

dimana :

k = 1,0 (faktor bahan)

C₀ = (L/25 + 4,1) Crw untuk L ≤ 90

L = *Length of Perpendicular*

B = *Breadth*

Cb = *Coefficient Block*

Momen inersia pada sumbu horizontal tidak boleh kurang dari :

$$I_y = 3 \cdot 10^{-2} \cdot W \cdot \frac{L}{k} \text{ (m}^4\text{)} \quad (26)$$

dimana :

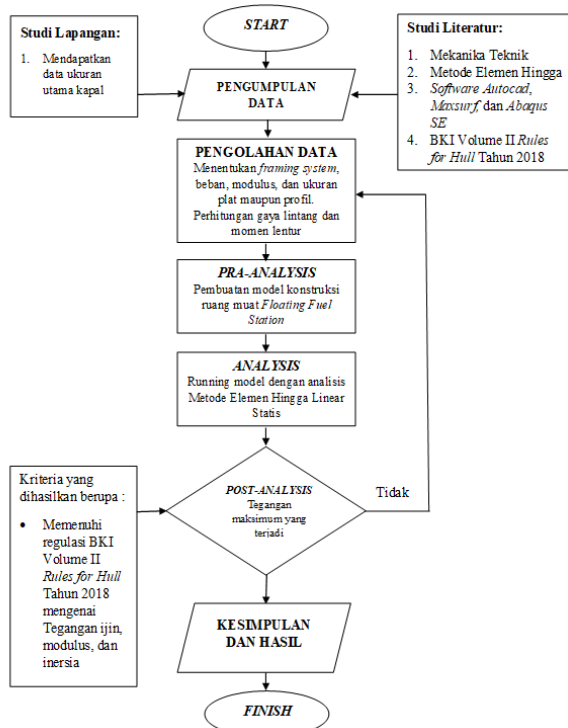
W = Modulus penampang

L = *Length of Perpendicular*

2.6. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga adalah metode numerik untuk menyelesaikan masalah teknik dengan fisika sistematis. Penyelesaian Metode Elemen Hingga menghasilkan persamaan serentak yang harus diselesaikan, penyelesaian ini memberikan hasil atau penyelesaian pendekatan dari nilai yang tidak diketahui pada titik tertentu dalam sistem yang kontinyu. Sistem yang kontinyu adalah istilah dari kondisi struktur atau objek yang sebenarnya. Diskritisasi adalah proses pemodelan dari struktur atau objek dengan membaginya dalam elemen-elemen kecil [9]. Elemen ini disebut elemen berhingga dan dihubungkan bersama-sama di sejumlah titik simpul [10].

2.7. Flow Chart



Gambar 1. Flowchart Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan pembebanan eksternal dilakukan untuk menentukan modulus profil dan tebal plat yang akan digunakan.

3.1. Hasil Perhitungan Pembebanan Eksternal

A. Beban Geladak Cuaca

$$P_d = P_o \frac{20 \cdot T}{(10 + Z - T)H} \cdot C_d$$

$$P_d = 7,09 \frac{20 \cdot 1,8}{(10 + 1,667 - 1,8)2,5} \cdot 1$$

$$P_d = 0,0103 \text{ N/mm}^2$$

B. Beban Sisi Dibawah Garis Air

$$P_s = 10 \cdot (T - Z) + P_o \cdot C_f \cdot \left(1 + \frac{Z}{T}\right)$$

$$P_s = 10 \cdot (1,8 - 0,6) + 7,09 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{0,6}{1,8}\right)$$

$$P_s = 0,0214 \text{ N/mm}^2$$

C. Beban Sisi Diatas Garis Air

$$P_s = P_o \cdot C_f \cdot \left(\frac{20}{10 + Z - T}\right)$$

$$P_s = 7,09 \cdot 1 \cdot \left(\frac{20}{10 + 2,15 - 1,8}\right) = 0,0137 \text{ N/mm}^2$$

D. Beban Pada Alas

$$P_b = 10 \cdot T + P_o \cdot C_f$$

$$P_b = 10 \cdot 1,8 + 7,09 \cdot 1 = 0,0250 \text{ N/mm}^2$$

E. Beban Pada Alas Dalam

$$P_i = 9,81 \cdot \frac{G}{V} \cdot h \cdot (1 + a_v)$$

$$P_i = 9,81 \cdot \frac{227}{272,89} \cdot 1,74 \cdot (1 + 0,279)$$

$$P_i = 0,0181 \text{ N/mm}^2$$

3.2. Hasil Perhitungan Modulus Profil dan Tebal Plat

Setelah mendapatkan hasil perhitungan pembebanan eksternal, dapat ditentukan ukuran profil dan tebal plat yang akan digunakan pada masing-masing sistem konstruksi. Perhitungan profil dan tebal plat yang dilakukan hanya pada bagian ruang muat kapal

A. Plat Sisi Kontruksi Melintang

$$t_{s1} = 1,9 \cdot n_f \cdot a \cdot \sqrt{P_s \cdot k} + t_k$$

$$t_{s1} = 1,9 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{21,46 \cdot 1} + 1,5 = 6 \text{ mm}$$

B. Plat Sisi Kontruksi Memanjang

$$t_{s1} = 1,9 \cdot n_f \cdot a \cdot \sqrt{P_s \cdot k} + t_k$$

$$t_{s1} = 1,9 \cdot 0,83 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{21,46 \cdot 1} + 1,5 = 6 \text{ mm}$$

C. Plat Alas Kontruksi Melintang

$$t_{b1} = 1,9 \cdot n_f \cdot a \cdot \sqrt{P_b \cdot k} + t_k$$

$$t_{b1} = 1,9 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{25,09 \cdot 1} + 1,5 = 7 \text{ mm}$$

D. Plat Alas Kontruksi Memanjang

$$t_{b1} = 1,9 \cdot n_f \cdot a \cdot \sqrt{P_b \cdot k} + t_k$$

$$t_{b1} = 1,9 \cdot 0,83 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{25,09 \cdot 1} + 1,5 = 7 \text{ mm}$$

E. Plat Alas Dalam

$$t_{b1} = 1,1 \cdot a \cdot \sqrt{P_i \cdot k} + t_k$$

$$t_{b1} = 1,1 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{17,13 \cdot 1} + 1,5 = 4 \text{ mm}$$

F. Plat Deck

$$t_{b1} = 1,21 \cdot a \cdot \sqrt{P_d \cdot k} + t_k$$

$$t_{b1} = 1,21 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{10,35 \cdot 1} + 1,5 = 4 \text{ mm}$$

G. Tebal Center Girder

$$t_m = \frac{h}{h_a} \left(\frac{h}{100} + 1,0\right) \sqrt{k}$$

$$t_m = \frac{868,4}{760} \left(\frac{868,4}{100} + 1,0\right) \sqrt{1} = 11 \text{ mm}$$

H. Tebal Side Girder

$$t = \frac{h^2}{120 \cdot h_a} \sqrt{k}$$

$$t = \frac{868,4^2}{120 \cdot 760} \sqrt{1} = 9 \text{ mm}$$

I. Tebal Solid Floor

$$t_{pf} = (t_m - 2,0) \sqrt{k}$$

$$t_{pf} = (11 - 2,0) \sqrt{1} = 9 \text{ mm}$$

J. Tebal Sekat Kedap Air

$$t_{min} = 6,00 \cdot \sqrt{f}$$

$$t_{min} = 6,00 \cdot \sqrt{1} = 6 \text{ mm}$$

K. Main Frame

$$W_R = n \cdot c [1 - m a^2] \cdot c_f \cdot a \cdot l^2 \cdot P_s \cdot k$$

$$W_R = 0,8 \cdot 0,6 [1 - 0,05] \cdot 0,75 \cdot 0,5 \cdot 1,74^2 \cdot 19,09 \cdot 1$$

$$W_R = 13,04 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : L 60x40x5 mm

L. Deck Beam

$$W_d = c \cdot a \cdot l^2 \cdot P_d \cdot k$$

$$W_d = 0,75 \cdot 0,5 \cdot 5,76^2 \cdot 7,76 \cdot 1 = 96,66 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : L 130x75x8 mm

M. *Strong Beam*

$$W = c. e. l^2 . Pd. k$$

$$W = 0,75. 3. 5,76^2 . 6,21. 1 = 463,98 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : T 280x20 FP31,5x20 mm

N. *Side Deck Girder*

$$W = 0,75. 3. 8,5^2 . 6,21. 1 = 1178,80 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : T 360x30 FP 168,75x30 mm

O. *Side Longitudinal*

$$W_1 = \frac{\sigma_{perm}}{83,3} . a. l^2 . Ps$$

$$W_1 = \frac{83,3}{198,45} . 0,35. 8,5^2 . 19,09 = 202,71 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : L 150x90x12 mm

P. *Bottom Longitudinal* Konstruksi

Memanjang

$$W_1 = \frac{\sigma_{perm}}{83,3} . a. l^2 . Pb$$

$$W_1 = \frac{83,3}{198,45} . 0,5. 8,5^2 . 23,32 = 353,66 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : L 200x100x14 mm

Q. *Bottom Longitudinal* Konstruksi Campuran

$$W_1 = \frac{\sigma_{perm}}{83,3} . 0,5. 2^2 . 23,32 = 19,57 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : L 60x40x7 mm

R. *Inner Bottom Longitudinal* Konstruksi

Memanjang

$$W_1 = \frac{\sigma_{perm}}{83,3} . a. l^2 . Pi$$

$$W_1 = \frac{83,3}{198,45} . 0,5. 8,5^2 . 17,13 = 259,89 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : L 180x90x12 mm

S. *Inner Bottom Longitudinal* Konstruksi Campuran

$$W_1 = \frac{\sigma_{perm}}{83,3} . 0,5. 2^2 . 17,13 = 13,56 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : L 60x40x5 mm

T. *Deck Longitudinal* Konstruksi Memanjang

$$W_1 = c. a. l^2 . Pd. k$$

$$W_1 = 0,75. 0,5. 8,5^2 . 7,76. 1 = 210,50 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : L 150x100x12 mm

U. *Deck Longitudinal* Konstruksi Campuran

$$W_1 = 0,75. 0,5. 2^2 . 7,76. 1 = 11,63 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : L 60x40x5 mm

V. *Bottom Frame*

$$W_1 = n. c. a. l^2 . Pb. k$$

$$W_1 = 0,7. 1. 0,5 . 3,5^2 . 23,32. 1 = 99,99 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : L 130x75x8 mm

W. *Inner Bottom Frame*

$$W_1 = n. c. a. l^2 . Pi. k$$

$$W_1 = 0,55. 1. 0,5. 3,5^2 . 17,13. 1 = 57,73 \text{ cm}^3$$

Mengacu pada Annex profil yang direncanakan ialah : L 80x65x10 mm

Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan ukuran profil dan tebal plat yang akan digunakan pada masing-masing sistem konstruksi. Ukuran dan jumlah profil pada masing-masing sistem konstruksi dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3

Tabel 1. Ukuran Profil Konstruksi Melintang

No	Profil	Ukuran (mm)	Jumlah
1	<i>Strong Beam</i>	280x20 FP31,5x20	4
2	<i>Side Deck Girder</i>	360x30 FP168,75x30	2
3	<i>Deck Beam</i>	130x75x8	28
4	<i>Main Frame</i>	60x45x5	28
5	<i>Bottom Frame</i>	130x75x8	28
6	<i>Inner Bottom Frame</i>	80x65x10	28

Tabel 2. Ukuran Profil Konstruksi Memanjang

No	Profil	Ukuran (mm)	Jumlah
1	<i>Strong Beam</i>	280x20 FP31,5x20	4
2	<i>Side Deck Girder</i>	360x30 FP168,75x30	2
3	<i>Deck Longitudinal</i>	150x100x12	16
4	<i>Side Longitudinal</i>	150x90x12	8
5	<i>Inner Bottom Longitudinal</i>	180x90x12	18
6	<i>Bottom Longitudinal</i>	200x100x14	18

Tabel 3. Ukuran Profil Konstruksi Campuran

No	Profil	Ukuran (mm)	Jumlah
1	<i>Strong Beam</i>	280x20 FP31,5x20	4
2	<i>Side Deck Girder</i>	360x30 FP168,75x30	2
3	<i>Deck Longitudinal</i>	60x40x5	28
4	<i>Main Frame</i>	60x40x5	8
5	<i>Inner Bottom Longitudinal</i>	60x40x5	18
6	<i>Bottom Longitudinal</i>	60x40x7	18
7	<i>Inner Bottom Frame</i>	80x65x10	28
8	<i>Bottom Frame</i>	130x75x8	28

Setelahnya dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *section modulus*, momen inersia, titik berat dan berat konstruksi dari masing-masing sistem konstruksi. Selanjutnya titik berat digunakan sebagai titik acuan kondisi batas dan *load*.

A. *Section Modulus* Konstruksi Melintang

$$W = \frac{I_{na}}{Z}$$

$$W = \frac{0,2655}{1,456} = 0,1823 \text{ m}^3$$

B. *Section Modulus* Konstruksi Memanjang

$$W = \frac{I_{na}}{Z}$$

$$W = \frac{0,4183}{1,47} = 0,2846 \text{ m}^3$$

C. *Section Modulus* Konstruksi Campuran

$$W = \frac{I_{na}}{Z}$$

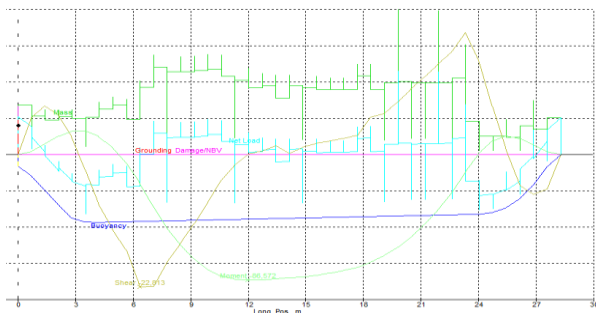
$$W = \frac{0,2833}{1,432} = 0,1979 \text{ m}^3$$

Tabel 4. Rangkuman Perhitungan

	Melintang	Memanjang	Campuran
Titik Berat	1,4562 m	1,4701 m	1,4320 m
Modulus	0,1832 m ³	0,2846 m ³	0,1979 m ³
Inersia	0,2655 m ⁴	0,4183 m ⁴	0,2833 m ⁴
Berat Konstruksi	56,855 ton	71,926 ton	59,948 ton

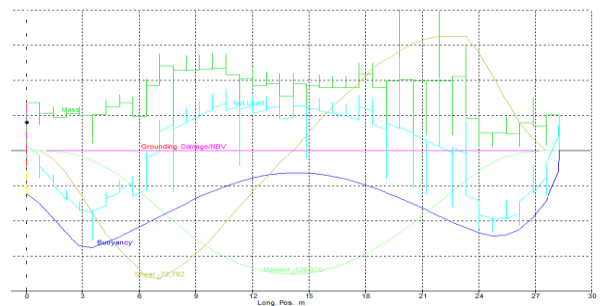
3.3. *Bending Moment* Pada Tiap Kondisi Perairan

Dalam analisa kekuatan memanjang, diperlukan *bending moment* maksimal pada tiap-tiap kondisi perairan yang akan digunakan sebagai *loading condition* pada masing-masing sistem konstruksi yang direncanakan. Analisa *bending moment* dilakukan dengan menggunakan bantuan software. Angka positif dan negatif hanya menunjukkan arah dari momen yang bekerja. Hasil dari analisa dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4.



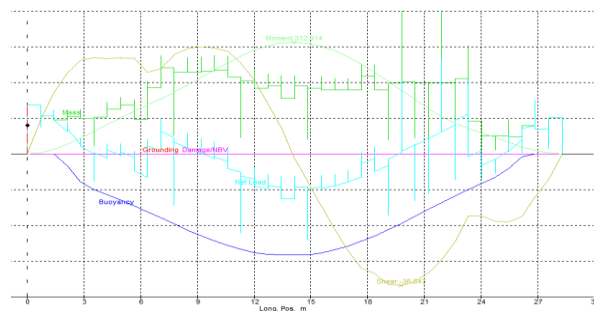
Gambar 2. Momen Maksimal Kondisi Air Tenang

Didapatkan momen maksimal yang terjadi pada kondisi air tenang adalah -86,572 ton.m atau -848405,6 N.m.



Gambar 3. Momen Maksimal Kondisi *Sagging*

Didapatkan momen maksimal yang terjadi pada kondisi air tenang adalah -526,930 ton.m atau -5163914 N.m.



Gambar 4. Momen Maksimal Kondisi *Hogging*

Didapatkan momen maksimal yang terjadi pada kondisi air tenang adalah 312,914 ton.m atau 3066557,2 N.m.

3.4. Kondisi Batas dan *Load*

Sebelum melakukan analisa, terlebih dahulu menentukan kondisi batas pada pada masing-masing model sistem konstruksi. Kondisi batas digunakan untuk menentukan bentuk tumpuan dari objek yang dianalisa.

Tabel 4. Kondisi Batas Translasi

Lokasi titik Independen	Translasi		
	X	Y	Z
After	-	Fix	Fix
Fore	Fix	Fix	Fix

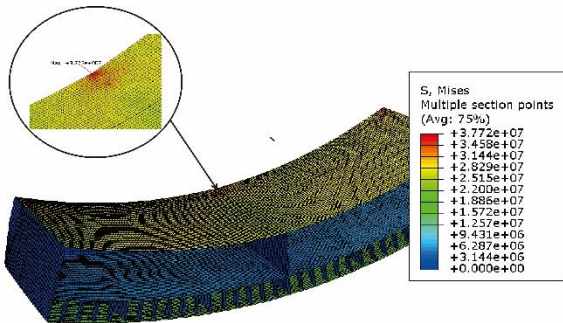
Tabel 5. Kondisi Batas Rotasi

Lokasi titik Independen	Rotasi		
	X	Y	Z
After	-	-	-
Fore	Fix	-	-

Load Condition yang digunakan adalah momen maksimal pada masing-masing kondisi perairan. *Load Condition* diletakan pada titik berat pada sekat melintang *after* dan *before*.

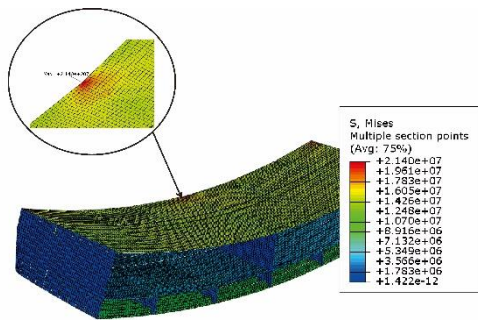
3.5. Analisa Tegangan Maksimum

Setelah menentukan kondisi batas dan *load* pada model, dapat dilakukan analisa untuk mendapatkan tegangan maksimum pada tiap sistem konstruksi menggunakan bantuan software berbasis FEM. Hasil dari analisa tegangan maksimum berupa nilai tegangan maksimum dan juga kontur atau perubahan warna pada bagian-bagian model sesuai dengan tegangan yang terjadi. *Sample* dari kontur dan *bending* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.



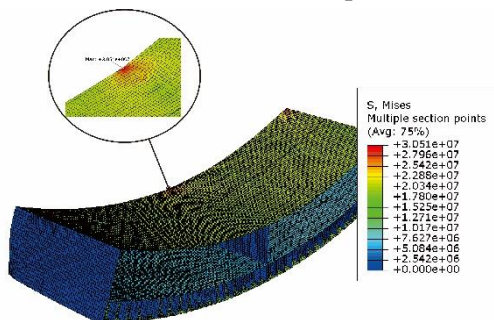
Gambar 4. Kondisi *Sagging* Konstruksi Melintang

Mengacu pada *post processing* menggunakan *von mises*, didapatkan tegangan maksimum sebesar 37,72 N/mm² pada *node* 478.



Gambar 5. Kondisi *Sagging* Konstruksi Memanjang

Mengacu pada *post processing* menggunakan *von mises*, didapatkan tegangan maksimum sebesar 21,40 N/mm² pada *node* 59.



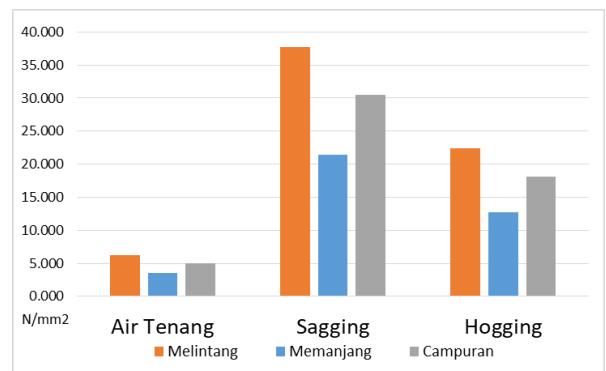
Gambar 6. Kondisi *Sagging* Konstruksi Campuran

Mengacu pada *post processing* menggunakan *von mises*, didapatkan tegangan maksimum sebesar 30,51 N/mm² pada *node* 492.

Dari keseluruhan hasil analisa didapatkan tegangan maksimum pada sistem konstruksi melintang, memanjang dan campuran pada tiap-tiap kondisi perairan. Hasil dari analisa tegangan maksimum dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisa Tegangan Maksimum

Konstruksi	Melintang (N/mm ²)	Memanjang (N/mm ²)	Campuran (N/mm ²)
Air Tenang	6,198	3,51	5,01
<i>Sagging</i>	37,72	21,40	30,51
<i>Hogging</i>	22,40	12,71	18,12



Gambar 7. Grafik Perbandingan Tegangan Maksimum

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa konstruksi memanjang memiliki tegangan maksimal yang paling kecil disemua kondisi perairan. Sementara konstruksi melintang memiliki tegangan maksimal paling besar disemua kondisi perairan.

3.6. Pengecekan Hasil Analisa

Pengecekan dilakukan untuk mengetahui apakah tegangan maksimal, *section modulus*, dan momen inersia dari masing-masing sistem konstruksi yang direncanakan telah memenuhi kriteria dari regulasi yang menjadi acuan dari penelitian ini yaitu BKI Volume II Tahun 2018.

a. Tegangan Maksimum

$$\sigma_p = c_s \cdot \sigma_{p0}$$

$$\sigma_p = 1.99,7034$$

$$\sigma_p = 99,7034 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{max} < \sigma_p$$

Tabel 7. Pengecekan Tegangan Maksimum Kondisi Air Tenang

Konstruksi	Max Stress (N/mm ²)	Kriteria BKI (N/mm ²)	Keterangan
Melintang	6,19	99,70	Memenuhi
Memanjang	3,51	99,70	Memenuhi
Campuran	5,01	99,70	Memenuhi

Kondisi Sagging			
Kondisi	Max Stress (N/mm ²)	Kriteria BKI (N/mm ²)	Keterangan
Melintang	37,72	99,70	Memenuhi
Memanjang	21,40	99,70	Memenuhi
Campuran	30,51	99,70	Memenuhi

Kondisi Hogging			
Kondisi	Max Stress (N/mm ²)	Kriteria BKI (N/mm ²)	Keterangan
Melintang	22,40	99,70	Memenuhi
Memanjang	12,71	99,70	Memenuhi
Campuran	18,12	99,70	Memenuhi

b. Section Modulus

$$W_{min} = k \cdot C_0 \cdot L^2 \cdot B \cdot (Cb + 0,7) \cdot 10^{-6}$$

$$W_{min} = 1 \cdot 6,974 \cdot 28,276^2 \cdot 11,52 \cdot (0,837 + 0,7) \cdot 10^{-6}$$

$$W_{min} = 0,1010 \text{ m}^3$$

$$W > W_{min}$$

Tabel 8. Pengecekan Section Modulus

Konstruksi	Modulus (m ³)	Kriteria BKI (m ³)	Keterangan
Melintang	0,1832	0,1010	Memenuhi
Memanjang	0,2846	0,1010	Memenuhi
Campuran	0,1979	0,1010	Memenuhi

c. Momen Inersia

$$I_y = 3 \cdot 10^{-2} \cdot W \cdot \frac{L}{k}$$

$$I_y = 3 \cdot 10^{-2} \cdot 0,1010 \cdot \frac{28,276}{1}$$

$$I_y = 0,0857 \text{ m}^4$$

$$I_{na} > I_y$$

Tabel 9. Pengecekan Momen Inersia

Konstruksi	Momen Inersia (m ⁴)	Kriteria BKI (m ⁴)	Keterangan
Melintang	0,2655	0,0857	Memenuhi
Memanjang	0,4183	0,0857	Memenuhi
Campuran	0,2833	0,0857	Memenuhi

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa perencanaan konstruksi ruang muat *Floating Fuel Station* telah didapatkan data sebagai berikut.

Analisa pada konstruksi melintang menghasilkan tegangan maksimum 6,198 N/mm² pada kondisi air tenang, 37,72 N/mm² pada kondisi *sagging*, 22,40 N/mm² pada kondisi *hogging*. *Section Modulus* sebesar 0,1832 m³, dan momen inersia sebesar 0,2655 m⁴.

Analisa pada konstruksi memanjang menghasilkan tegangan maksimum 3,51 N/mm² pada kondisi air tenang, 21,40 N/mm² pada kondisi *sagging*, 12,71 N/mm² pada kondisi *hogging*. *Section Modulus* sebesar 0,2846 m³, dan momen inersia sebesar 0,4183 m⁴.

Analisa pada konstruksi campuran menghasilkan tegangan maksimum 5,01 N/mm² pada kondisi air tenang, 30,51 N/mm² pada kondisi *sagging*, 18,12 N/mm² pada kondisi *hogging*. *Section Modulus* sebesar 0,1979 m³, dan momen inersia sebesar 0,2833 m⁴.

Sehingga dapat diketahui bahwa semua sistem konstruksi memenuhi kriteria tegangan maksimum dari regulasi BKI Volume II Tahun 2018. Konstruksi memanjang merupakan konstruksi yang paling baik karena memiliki tegangan maksimal yang paling kecil pada semua kondisi tetapi memiliki berat konstruksi yang paling berat. Jika ditinjau dari segi ekonomis maka sistem konstruksi melintang adalah yang paling baik karena memiliki berat konstruksi yang paling ringan dan masih memenuhi kriteria regulasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Nugraha, Sandi; E. S. Hadi; B. A. Adietya, "STUDI PERANCANGAN FLOATING FUEL STATION UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN BAHAN BAKAR MASYARAKAT NELAYAN PESISIR DI KABUPATEN DEMAK," Kapal., Vol. 15, no. 2, pp. 51-61, 2018.

[2] Hadi, Eko Sasmito; I. P. Mulyatno; A. R. B. Santosa, "PEMBERDAYAAN KELOMPOK NELAYAN TANGKAP TRADISIONAL DI KAWASAN PESISIR PANTAI MORO DEMAK DALAM UAPAYA PENINGKATAN PRODUKSI DAN PENGHEMATAN BBM," Kapal., Vol. 12, No. 3, pp. 151-157, 2015.

[3] PT. Pertamina, "KEBIJAKAN PEMBANGUNAN SPBN/SPDN DALAM

MEMENUHI KEBUTUHAN BBM BAGI NELAYAN,” Jakarta, 2016.

- [4] Zulfikar, Akhmad Syarif; A. F. Zakki; B. A. Adietya, “ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI RUANG MUAT KAPAL SELF PROPELLED OIL BARGE SALRA 115 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA LINEAR DAN NONLINEAR,” Kapal., Vol. 3, no. 4, pp. 462-471, 2015.
- [5] Rosid, Fajrul Falah; I. P. Mulyatno; E. S. Hadi; “ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI KAPAL LANDING CRAFT TANK TELUK KATUREI AKIBAT PERUBAHAN FRAMING SYSTEM DENGAN METODE ELEMEN HINGGA,” Kapal., Vol. 5, no. 3, pp. 502-508, 2017.
- [6] Hermawan, Mohammad Budi; H. Yudo; A. F. Zakki, “ANALISA KEKUATAN MEMANJANG PADA KAPAL IKAN MINI PURSE SEINE TRADISIONAL DENGAN KAPAL SESUAI ATURAN BIRO KLASIFIKASI INDONESIA (BKI),” Kapal., Vol. 6, no. 1, pp. 217-222, 2018.
- [7] SangAruna, “Floating Bunker Pom Bensin Terapung,” 2011. [Online]. Available: <http://sang-aruna.blogspot.com/2011/05/floating-bunker-pom-bensin-terapung.html>. [Accessed: 22-Feb-2019].
- [8] Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. 2018. Rules for Classification and Construction of Sea Going Ship Volume II : Rules for Hull Edition 2018, Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- [9] Karisma, I Made Wira; I. P. Mulyatno; G. Rindo, “ANALISA KEKUATAN STRUKTUR PONDASI MESIN DENGAN INTERAKSI TRUST BLOCK PADA KAPAL FERRY 500 GT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA,” Jurnal Teknik Perkapalan., Vol. 5, No. 1, pp. 10-15, 2017.
- [10] I. P. Mulyatno, B. Arswendo A, and M. Alan, “ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI BRACKET TOWING HOOK PADA TB . BONTANG DENGAN METODE ELEMEN HINGGA DAN RULES BKI,” Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan, vol. 9, no. 1, pp. 1–5, Jan. 2013.